



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**

**Núcleo de Ciências e Tecnologia**

**Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente**

**ESPÉCIES DE CAMARÕES COMO BIOMONITORAS DA  
CONTAMINAÇÃO POR MERCÚRIO NA BACIA RIO MADEIRA**

**ROBERTA CAROLINA FERREIRA GALVÃO**

**Porto Velho (RO)  
2010**

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**

**Núcleo de Ciências e Tecnologia**

**ESPÉCIES DE CAMARÕES COMO BIOMONITORAS DA  
CONTAMINAÇÃO POR MERCÚRIO NA BACIA RIO MADEIRA**

**ROBERTA CAROLINA FERREIRA GALVÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada junto  
ao Programa de Desenvolvimento Regional  
e Meio Ambiente, Área de Concentração  
em Monitoramento Ambiental para  
obtenção do Título de Mestre em  
Desenvolvimento Regional e Meio  
Ambiente.

**Porto Velho (RO)  
2010**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**BIBLIOTECA PROF. ROBERTO DUARTE PIRES**

G182e

Galvão, Roberta Carolina Ferreira

Espécies de camarões como biomonitoras da contaminação por mercúrio na bacia do rio Madeira / Roberta Carolina Ferreira Galvão. Porto Velho, Rondônia, 2010.

60f.: il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente)  
Fundação Universidade Federal de Rondônia / UNIR.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

1. Camarões 2. Mercúrio 3. Rio Madeira I. Bastos, Wanderley Rodrigues  
II. Título.

CDU: 595.371:502.175 (811.1)

Bibliotecária Responsável: Ozelina Saldanha CRB11/947

ROBERTA CAROLINA FERREIRA GALVÃO

**ESPÉCIES DE CAMARÕES COMO BIOMONITORAS DA CONTAMINAÇÃO  
POR MERCÚRIO NA BACIA DO RIO MADEIRA**

Comissão Examinadora

*Cristina Maria Magalhães de Souza*

Prof. Dra. Cristina Maria Magalhães de Souza (UENF)

*Mariangela Soares de Azevedo*

Pra. Dra. Mariangela Soares de Azevedo (UNIR)

*Wanderley Rodrigues Bastos*

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos (Orientador – UNIR)

Porto Velho, 08 de Setembro de 2010.

Resultado: APROVADA *Q*

**DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Laura e Valclêmio,  
às minhas irmãs Vanessa e  
Valeska e ao meu esposo Igor. A  
vocês todo meu amor e carinho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade que tenho de estudar e crescer profissionalmente. Se não fosse a Tua vontade e a Tua mão sobre mim, eu não teria chegado até aqui, obrigada Senhor por mais essa conquista.

Agradeço aos meus pais Laura e Valclêmio por todo o amor que têm por mim e por terem me ensinado a importância dos estudos, seus esforços não foram em vão.

Agradeço às minhas irmãs Vanessa e Valeska que sempre acreditaram em mim.

Agradeço a toda a equipe de campo: Ígor, Ronaldo, Dario, Márcio, Marília, Leidiane, Beta, Júlia e Lauana que, muitas vezes, mesmo sem acreditar investiram nas amostragens. Chegamos ao número de 402 camarões! Sem vocês não teríamos conseguido.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Wanderley Rodrigues Bastos por mais essa oportunidade, por ter acreditado no meu potencial, pela paciência que teve comigo e pelas tantas considerações creditadas.

Agradeço também ao professor Gil pelo apoio técnico e pelo auxílio nas Análises Estatísticas.

Agradeço ao professor Luiz Drude de Lacerda pelas considerações sobre a compartimentalização e referências sobre metais em camarões.

Agradeço ao professor Reinaldo Calixto pelos conhecimentos sobre absorção atômica.

Agradeço ao pesquisador Célio Magalhães pela atenção em identificar as espécies e pelas contribuições fornecidas.

Agradeço aos meus amigos presentes e ausentes, pelo convívio, aprendizado, momentos de distração, alegria e desespero.

Agradeço a todo corpo docente de pós-graduação, aos meus companheiros de classe, aos barqueiros, motoristas, senhoras da biblioteca, limpeza, enfim, a todos que contribuíram, mesmo indiretamente com a realização deste trabalho.

Agradeço aos órgãos financiadores CAPES e Santo Antônio Energia pelo apoio financeiro e logístico empregado neste trabalho.

Agradeço ao meu esposo Ígor, sempre ao meu lado. Obrigada pela dedicação que você tem por mim, pelo seu companheirismo, sua amizade e amor. É bom saber que nosso amor existe, é real.

*“Não basta a leitura sem a unção, não basta a especulação sem a devoção, não basta a pesquisa sem maravilhar-se; não basta a circunspeção sem o júbilo; o trabalho sem a piedade, a ciência sem a caridade, a inteligência sem a humanidade, o estudo sem a graça!”*  
(São Boaventura)

GALVÃO, R. C. F. **Espécies de camarões como biomonitoras da contaminação por mercúrio na bacia do rio Madeira.** Porto Velho, 2010. 60p. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

## RESUMO

As concentrações de mercúrio (Hg) em camarões têm sido avaliadas por vários autores devido ao fato desses organismos estarem expostos aos riscos de contaminação e intoxicação por este elemento. *Macrobrachium brasiliense*, *Macrobrachium depressimanum* e *Macrobrachium jelskii* são espécies de camarões, sem valor comercial, mas que constituem uma rota potencial de transferência de mercúrio ao longo da cadeia alimentar, principalmente para os peixes comerciais que delas se alimentam, por isso, o interesse em utilizá-las como biomonitoras. Além disso, por não haver registros da contaminação por Hg em camarões na região amazônica, justifica-se investigá-lo nessas espécies, assim o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as concentrações de Hg-T em camarões inteiros e compartimentalizados no rio Madeira e em seus afluentes no estado de Rondônia. Nesse estudo 402 espécimes de camarões foram coletados em julho de 2008, agosto e novembro de 2009 e maio de 2010, com auxílio de peneira e rede de arraste (4 e 7 mm entre nós adjacentes, respectivamente), sendo que se padronizou um esforço de procura de 10 minutos para o peneiramento do sedimento e da vegetação aquática marginal em quatro pontos de amostragem no rio Madeira: rio Madeira frente ao Igarapé Caripuna, frente ao Igarapé Jatuarana, frente a cachoeira Santo Antônio e frente ao Igarapé Belmont. Ainda foram amostrados camarões no rio Branco, rio Jaci-Paraná (fz), Igarapé Jatuarana I, Igarapé Belmont e Igarapé Caripuna. Em laboratório os camarões foram pesados em balança analítica e digeridos no forno de microondas específico para digestão de amostras utilizando-se de 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 3 mL de HNO<sub>3</sub> e 3 mL KMnO<sub>4</sub>. A quantificação de Hg foi realizada pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio. Alguns camarões foram analisados, quanto à concentração de Hg-T, individualmente e por inteiro, enquanto outros de forma compartimentalizada e agrupados em *pools* (grupos) de exoesqueleto, tecido muscular e hepatopancreático. Esses *pools* foram organizados por classes de tamanho. As concentrações médias de Hg-T nos indivíduos não compartimentalizados variaram de 0,043±0,038 a 0,309±0,222 mg.kg<sup>-1</sup>. As concentrações de Hg-T foram menores nos tecidos musculares e maiores no tecido hepatopancreático, elas variaram de 0,016±0,013 mg.kg<sup>-1</sup> no tecido muscular a 0,387 mg.kg<sup>-1</sup> no tecido hepatopancreático, tais valores estão abaixo dos limites determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para consumo humano (0,50 mg.kg<sup>-1</sup>). Pode-se afirmar que os camarões podem ser utilizados como biomonitores da presença de Hg na bacia rio Madeira, pelos seguintes fatores: são pouco móveis e podem ser encontrados em abundância no período de vazante, entretanto pode-se mencionar como desvantagem para o biomonitoramento das concentrações de Hg-T em camarões, o fato da sazonalidade influenciar na densidade destes organismos, pois estes encontram-se muito dispersos no período de águas altas.

**Palavras-chave:** Camarões, mercúrio, Rio Madeira.



GALVÃO, R. C. F. **Shrimp species as biomonitors of mercury contamination in the Madeira River basin.** Porto Velho, 2010. 60p. Dissertation. Postgraduate Program in Regional Development and Environment, Foundation University Federal of Rondônia – UNIR.

### ABSTRACT

The mercury (Hg) concentrations in shrimp have been evaluated by several authors due to the fact that these organisms are susceptible to contamination and intoxication by this element. *Macrobrachium brasiliense*, *Macrobrachium depressimanum* and *Macrobrachium jelskii* aren't species of commercial value, but are a potential route of transfer of mercury along the food chain, mainly for commercial fish that feed on them, therefore the interest in using them as biomonitoring. Furthermore, haven't records of mercury contamination in shrimp at the Amazon region, justified to investigate it in these species, thus the general objective of this study was to evaluate the Hg-T concentrations in no compartmentalized shrimp and compartmentalized at the Madeira River and its tributaries, Rondônia state. In this study 402 specimens of shrimps were collected in July 2008, August and November 2009 and May 2010, with the help of a sieve and sweeping net (4 and 7 mm between adjacent nodes, respectively), being standardized as an effort search for 10 minutes to the sediment screening and marginal aquatic vegetation in four sampling points on the Madeira river: Madeira river in front of the Caripuna stream, facing the Jatuarana stream, facing the waterfall front of the Santo Antônio and Belmont stream. Although shrimp were sampled in Branco river, Jaci-Paraná river (mouth), Jatuarana I stream, Belmont stream and Caripuna stream. In laboratory, shrimp were weighed on an analytical balance and digested in a microwave oven-specific sample digestion using 1 mL of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 3 mL of HNO<sub>3</sub> and 3 mL of KMnO<sub>4</sub>. Hg-T quantification was performed by atomic absorption spectrophotometry by cold vapor generation. Some shrimp were analyzed as the Hg-T concentrations, individually and in full, while others in compartmentalized form and in pools of exoskeleton, muscle tissue and hepatopancreatic tissue. These pools were organized by size classes. The average of Hg-T concentrations in non-compartmentalized ranged from 0.043±0.038 to 0.309±0.222 mg.kg<sup>-1</sup>. The Hg-T concentrations are lower in muscle tissues and higher in hepatopancreatic tissue, they ranged from 0.016±0.013 mg.kg<sup>-1</sup> in muscle tissue 0.387 mg.kg<sup>-1</sup> in hepatopancreatic tissue, these values are below the limit set by National Agency for Sanitary Vigilance for human consumption (0.50 mg.kg<sup>-1</sup>). It can be said that shrimps can be used as biomonitors in the Hg presence at the Madeira River basin, by the following factors: they are less mobile and can be found in abundance in the outflow period, however this can be mention as a disadvantage for biomonitoring of the Hg-T concentrations in shrimps, the fact of the seasonal to influence on the density of these organisms, since they are found widely dispersed in high-water period.

**Key-words:** Shrimps, mercury, Madeira river.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01.</b> Localização da área de estudo.....	23
<b>Figura 02.</b> <i>M. jelskii</i> .....	24
<b>Figura 03.</b> <i>M. jelskii</i> entre os folhiços .....	24
<b>Figura 04.</b> <i>M. jelskii</i> .....	24
<b>Figura 05.</b> Coleta de camarões em uma ilha no rio Madeira.....	24
<b>Figura 06.</b> Coleta de camarões no igarapé Caripuna.....	25
<b>Figura 07.</b> Coleta de camarões no igarapé Jatuarana I.....	25
<b>Figura 08.</b> Medidas biométricas .....	26
<b>Figura 09.</b> Pesagem .....	26
<b>Figura 10.</b> Adição de reagentes às amostras de camarão em tubos de teflon.....	27
<b>Figura 11.</b> Amostras em processo de digestão no microondas.....	27
<b>Figura 12.</b> Intensidade de associação entre as concentrações de Hg-T entre tecido muscular e tecido hepatopancreático de camarões .....	43
<b>Figura 13.</b> Intensidade de associação entre as concentrações de Hg-T entre exoesqueleto e tecido hepatopancreático de camarões .....	43
<b>Figura 14.</b> Intensidade de associação entre as concentrações de Hg-T entre exoesqueleto e tecido muscular de camarões.....	44
<b>Figura 15.</b> <i>M. brasiliense</i> .....	54
<b>Figura 16.</b> <i>M. brasiliense</i> .....	54
<b>Figura 17.</b> <i>M. depressimanum</i> .....	55
<b>Figura 18.</b> <i>M. jelskii</i> .....	56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01.</b> Concentração de Hg-T nos sólidos em suspensão e sedimento de fundo amostrados no rio Madeira e em alguns de seus afluentes.....	17
<b>Tabela 02.</b> Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.....	29
<b>Tabela 03.</b> Quantitativo de camarões amostrados por período nas diferentes localidades amostradas.....	31
<b>Tabela 04.</b> Concentração de Hg-T em amostras de Referência Certificadas de peixes e molusco (mg.kg <sup>-1</sup> ).....	33
<b>Tabela 05.</b> Estatística descritiva das concentrações de Hg-T de camarões coletados na bacia rio Madeira analisados de forma não compartimentalizada.....	33
<b>Tabela 06.</b> Teste de normalidade Shapiro-Wilks ( $\alpha = 0,05$ ) da variáveis Hg-T em camarões na bacia rio Madeira.....	35
<b>Tabela 07.</b> Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn.....	36
<b>Tabela 08.</b> Estatística descritiva das concentrações de Hg-T em mg.kg <sup>-1</sup> no tecido muscular (TM), exoesqueleto (EX) e hepatopancreático (TH) nas espécies de camarões das diferentes localidades.....	37
<b>Tabela 09.</b> Resultados do teste de normalidade S-W realizado para tecido muscular (TM), exoesqueleto (EX) e hepatopancreático (TH) das diferentes espécies por localidades.....	39
<b>Tabela 10.</b> Concentrações de Hg-T em tecido muscular (TM), exoesqueleto (EX) e tecido hepatopancreático (TH) de camarões por período e classes de tamanho.....	40
<b>Tabela 11.</b> Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn.....	42
<b>Tabela 12.</b> Concentração de Hg-T em sedimentos de fundo das localidades onde foram amostrados camarões.....	45
<b>Tabela 13.</b> Tabela de diferenças pareadas entre as concentrações de Hg-T por espécie e localidade.....	57
<b>Tabela 14.</b> Diferenças significativas pareadas entre as concentrações de Hg-T por espécie e localidade.....	57
<b>Tabela 15.</b> Tabela de diferenças pareadas entre as concentrações de Hg-T por compartimentos, espécies e localidade.....	58
<b>Tabela 16.</b> Diferenças significativas pareadas entre as concentrações de Hg-T por compartimento, espécie e localidade.....	59
<b>Tabela 17:</b> Parâmetros físicos-químicos das localidades onde foram amostrados os camarões.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS

**Ago:** agosto  
**ANVISA:** Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
**CAERD:** Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia  
**cm:** centímetros  
**CP:** Igarapé Caripuna  
**CT:** comprimento total  
**DP:** desvio padrão  
**EIA:** Estudo de Impacto Ambiental  
**Esp/loc:** Espécie por localidade  
**ETA:** Estação de Tratamento de Água  
**EX:** exoesqueleto  
**gl:** graus de liberdade  
**g/L:** grama por litro  
**Hg:** mercúrio  
**Hg<sup>0</sup>:** mercúrio metálico  
**[Hg] | Esp/loc:** concentração de mercúrio por espécie e localidade  
**Hg<sup>+2</sup>:** cátion de mercúrio  
**Hg-T:** mercúrio total  
**IB:** Igarapé Belmont  
**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**INPA:** Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia  
**JP-f:** Jaci-Paraná (foz)  
**JTI:** Igarapé Jatuarana I  
**Jul:** julho  
**km:** quilômetros  
**K-W:** Kruskal Wallis  
**LDT:** Limite de Detecção da Técnica  
**ln:** logarítimo natural  
***M. brasiliense:*** *Macrobrachium brasiliense*  
***M. depressimanum:*** *Macrobrachium depressimanum*  
***M. jelskii:*** *Macrobrachium jelskii*  
**M.MDCP:** *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripuna  
**M.MDIB:** *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Belmont  
**M.MDST:** *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente à cachoeira Santo Antônio  
**m:** metros  
**MDCP:** Rio Madeira em frente ao igarapé Caripuna  
**MDIB:** Rio Madeira em frente ao igarapé Belmont  
**MDJTI:** Rio Madeira em frente ao igarapé Jatuarana I  
**MdCP:** *Macrobrachium depressimanum* coletado no igarapé Caripuna  
**MdIB:** *Macrobrachium depressimanum* coletado no igarapé Belmont  
**MdJTI:** *Macrobrachium depressimanum* coletado no igarapé Jatuarana I  
**MdMDCP:** *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira em frente ao igarapé Caripuna  
**MdMDJTI:** *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira em frente ao igarapé Jatuarana I  
**MDST:** Rio Madeira em frente à cachoeira Santo Antônio  
**Metil-Hg:** metilmercúrio  
**mg/L:** miligrama por litro

**mg.kg<sup>-1</sup>**: miligrama por quilograma  
**MjJP-f**: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná (fz)  
**MjRB**: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco  
**µg.kg<sup>-1</sup>**: micrograma por quilograma  
**mS/m**: miliSiemens por metro  
**mV**: milivolts  
**N**: número amostral  
**Nov**: novembro  
**OD**: oxigênio dissolvido  
**ORP**: potencial de óxido-redução  
**p**: nível de significância  
**pH**: potencial hidrogeniônico  
**ppb**: partes por bilhão  
**p-valor**: probabilidade de significância  
**r**: coeficiente de correlação  
**RB**: Rio Branco  
**RIMA**: Relatório de Impacto Ambiental  
**SEDAM**: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental  
**S-W**: Shapiro Wilks  
**TDS**: total de sólidos dissolvidos  
**TH**: tecido hepatopancreático  
**TM**: tecido muscular  
**W**: estatística Wilks  
**α**: nível de significância

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	13
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	15
1.1 Rio Madeira	15
1.2 Sedimentos de Fundo	16
1.4 Macroinvertebrados	17
<b>2 OBJETIVOS</b>	21
2.1 Geral	21
2.2 Específicos	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	23
3.1 Área de estudo	23
3.2 Amostragem	24
3.3 Identificação	25
3.4 Análises químicas	25
3.6 Controle de qualidade	28
3.7 Análises Estatísticas	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	30
4.1 Concentrações de Hg-T em camarões não compartimentalizados	32
4.2 Concentrações de Hg-T em camarões compartimentalizados	36
<b>CONCLUSÕES</b>	46
<b>RECOMENDAÇÕES</b>	47
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	48
<b>APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES DE CAMARÕES AMOSTRADAS NA BACIA RIO MADEIRA</b>	53
<b>APÊNDICE B - CONCENTRAÇÕES DE Hg-T EM CAMARÕES</b>	57

## INTRODUÇÃO

As décadas de 70 e 80 constituíram o auge da mineração de ouro aluvionar, emitindo para a atmosfera e despejando no rio Madeira, grandes quantidades de mercúrio metálico ( $\text{Hg}^0$ ), durante o processo de amalgamação do ouro, devido à inexistência de técnicas para conter as perdas deste elemento para o ambiente. Esse despejo gerou uma contaminação ambiental por mercúrio ( $\text{Hg}^0$ ) que talvez jamais seja remediada, já que não existem técnicas que identifiquem bolsões deste elemento no leito do rio e o retirem do ambiente sem comprometê-lo ainda mais.

Estudos recentes revelam que as atividades de mineração não são as únicas fontes de Hg para o ambiente aquático. Herrmann (2004) relata que o Hg estocado nos solos amazônicos é de origem natural. Ele se apresenta naturalmente na ordem entre 150 e 200  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , dessa forma, esse reservatório representa uma fonte potencial deste elemento químico para os ambientes aquáticos. Dentro deste contexto, o Hg teria uma origem natural, além da antropogênica. O que explicaria o motivo de áreas isentas de fontes antrópicas apresentarem elevadas concentrações de Hg em peixes e em suas populações residentes.

O processo contemporâneo de ocupação desordenada das áreas de florestas naturais permite uma ação combinada de fatores; tais como a fragmentação da paisagem e os diferentes processos de uso, ocupação e substituição da cobertura vegetal que podem ser citados como exemplos para o aumento do transporte e deposição de Hg em ecossistemas aquáticos. Nesse contexto, Bastos (2004) cita as queimadas, que ocorrem de setembro a novembro na região, como fontes de contribuição natural de Hg para a atmosfera, ou de re-emissão do que foi absorvido por essa mesma fonte.

Uma série de estudos a respeito da contaminação por Hg em solos, sedimentos, plantas aquáticas, peixes e população ribeirinha, têm sido realizados na região amazônica, incluindo os processos de bioacumulação e biomagnificação do Hg. A questão deste elemento é preocupante por vários fatores, dentre eles podem ser citados como principais: sua característica neurotóxica, o fato de este elemento ser lipofílico, bioacumular nos organismos, além de sua propriedade de se biomagnificar ao longo da cadeia trófica e, conseqüentemente chegar à população ribeirinha.

São poucos os registros da contaminação por Hg em camarões na região amazônica. Como esses invertebrados constituem um elo importante entre os produtores primários e os

consumidores secundários na cadeia alimentar, justifica-se um estudo para avaliar as concentrações de Hg total (Hg-T) em camarões do rio Madeira e de alguns de seus afluentes.



# 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 RIO MADEIRA

O rio Madeira, com aproximadamente 1.450 km de extensão e, geralmente, mais de 500 m de largura, é formado a partir da confluência dos rios Mamoré e Beni originários dos planaltos andinos. Ele atravessa o Estado de Rondônia a noroeste e torna-se totalmente navegável a partir da cachoeira de Santo Antônio, nas proximidades da cidade de Porto Velho, até a sua foz (descarga) no rio Amazonas. Ao longo do trecho navegável encontram-se muitas ilhas, algumas com consideráveis extensões. Nas estiagens aparecem bancos de areia que mudam de posição por ocasião das vazantes em função da grande carga de material particulado que se depositam (SEDAM, 2002).

O período de águas altas ocorre predominantemente entre fevereiro e abril, e as águas baixas entre setembro e novembro. As nascentes de muitos igarapés do rio Madeira apresentam no período de estiagem trechos intermitentes que vêm aumentando em consequência dos desmatamentos, enquanto que os cursos d' água que drenam áreas maiores são perenes, embora a variação da vazão seja bastante expressiva (SEDAM, 2002).

A água retirada do rio Madeira ampara o consumo humano da população da cidade de Porto Velho, que segundo o censo de 2009 era de 382.829 habitantes (IBGE, 2009), onde a Companhia de Água e Esgotos de Rondônia (CAERD), através da Estação de Tratamento de Água (ETA), abastece com água tratada a área central da cidade Porto Velho e os bairros São Cristóvão e Embratel (AZEVEDO, 2009). Atividades de irrigação, pecuária e agricultura demandam volumes elevados de recursos hídricos; indústrias de bebidas, laticínios, couro-curtume, entre outras existentes na região, também utilizam água em seu processo de produção (SEDAM, 2002).

Na bacia do rio Madeira ainda existem atividades de mineração, como a retirada de ouro (em baixa escala, se comparada às décadas de 70 e 80) e remoção de argilas do leito deste rio para fabricação de telhas e tijolos. O rio Madeira apresenta um grande potencial hidroviário, sendo a segunda principal via de transporte fluvial da Amazônia, além de ser via de acesso a outras regiões do País. Ele contribui com grande quantidade de pescado para o comércio regional, abastecendo também populações ribeirinhas, através da pesca de subsistência. Ele também serve como meio de recreação, lazer e turismo (SEDAM, 2002).

Esta bacia possui grande potencial hidroelétrico. Por esse motivo, estão sendo construídas duas usinas hidrelétricas no rio Madeira, uma na cachoeira Santo Antônio,

localizada a 7 km a montante de Porto Velho e outra na cachoeira Jirau, cerca de 150 km também a montante de Porto Velho.

O rio Madeira é classificado como um rio de águas brancas amareladas ricas em sólidos em suspensão (SIOLI, 1967). Esses sólidos em suspensão apresentam uma composição média de 25% de argila, 60,6% de silte, 12% de areias finas e 2,4% de areias médias, grossas e cascalho, por isso considerado como fino (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2003), entretanto é importante salientar que essa composição muda muito com a vazão.

O regime hídrico do rio Madeira está submetido a variações sazonais que influenciam a vida dos organismos que dele dependem para sobreviver. Odum (2008) relata a existência de flutuações que resultam de mudanças sazonais ou anuais da disponibilidade de recursos, ou que podem ser estocásticas (aleatórias). Em ecossistemas de baixa diversidade, submetidos a estresses físicos, ou naqueles que são sujeitos a perturbações extrínsecas irregulares ou não-previsíveis, o tamanho da população tende a ser influenciado principalmente por fatores físicos, tais como condições meteorológicas, escassez alimentar, correntes aquáticas, condições limitantes químicas, poluição etc.

## 1.2 SEDIMENTOS DE FUNDO

O sedimento de fundo é formado pela erosão das margens dos rios e pelas partículas carregadas quando se dá a lixiviação realizada pelas águas das chuvas. Elementos químicos de origem natural (oriundo das atividades de lixiviação, erosão e intemperismo das rochas) e antrópica (presentes em efluentes) estão associados ao sedimento de fundo. Organismos filtradores obtêm alimento filtrando a água, e como consequência acabam ingerindo as partículas em suspensão, caso o Hg esteja associado a essas partículas, e se houver condições favoráveis à biodisponibilidade, este Hg poderá fazer parte da constituição corpórea destes indivíduos.

O mercúrio utilizado no garimpo de ouro, por ser muito pesado na sua forma metálica, acumula-se no sedimento de fundo do rio, sendo arrastado para locais de encaixe. Por ser mais denso que a areia no fundo deste, acaba descendo até se apoiar sobre as lajes rochosas que se afloram nas cachoeiras (FORSBERG & KEMENES, 2006). Com o revolvimento do leito e variando os parâmetros físicos e químicos do meio, o mercúrio metálico ( $\text{Hg}^0$ ) pode oxidar-se em  $\text{Hg}^{+2}$  e tornar-se facilmente organificado pela atividade microbiana, preferencialmente pelas bactérias sulfato-redutoras, transformando-se em metilmercúrio.

Os resultados das concentrações de Hg-T nos sólidos em suspensão e sedimentos de fundo, na fração menor que 200 *mesh*, divulgadas pelo EIA-RIMA, realizado em 2004 no rio Madeira, para a construção das usinas Santo Antônio e Jirau, encontram-se na tabela 01.

**Tabela 01.** Concentração de Hg-T nos sólidos em suspensão e sedimentos de fundo amostrados no rio Madeira e em alguns de seus afluentes.

<b>Matriz</b>	<b>Localidade</b>	<b>[Hg] mg.kg<sup>-1</sup>*</b>
Sólidos em suspensão	Rio Madeira**	0,049
Sólidos em suspensão	Rio Madeira***	0,045
Sólidos em suspensão	Igarapé Caripuna***	0,177
Sólidos em suspensão	Rio Madeira**	0,084
Sólidos em suspensão	Jaci-Paraná***	0,007
Sedimento de fundo	Rio Madeira**	0,049
Sedimento de fundo	Rio Madeira***	0,041
Sedimento de fundo	Jaci-Paraná**	0,064
Sedimento de fundo	Jaci-Paraná***	0,037

Adaptado de EIA-RIMA (2004).

\* Níveis considerados normais < 0,200

\*\* Final da enchente

\*\*\*Final da vazante

Muitos organismos alimentam-se da matéria orgânica associada aos finos grãos do sedimento de fundo. Dependendo da forma química de Hg que pode estar associada a este compartimento e caso esse elemento seja metilado pode ser disponibilizado para a cadeia trófica. Em condições físico-químicas favoráveis, as bactérias sulfato-redutoras biodisponibilizam Hg para os níveis tróficos da cadeia alimentar podendo chegar ao homem, através de seus principais alimentos de origem aquática.

### 1.3 MACROINVERTEBRADOS

Os macroinvertebrados bentônicos são bons biomonitores da qualidade de água, por serem relativamente sésseis e alimentarem-se de matéria orgânica proveniente do escoamento superficial, produzida na coluna d'água ou daquela proveniente da vegetação marginal que cai no leito dos rios. Os macroinvertebrados são importantes componentes da dieta de peixes, anfíbios e aves aquáticas e, por isso, transferem a energia obtida da matéria orgânica morta retida no sedimento para os animais que deles se alimentam. Dentre os macroinvertebrados predominam as larvas de insetos aquáticos, minhocas d'água, caramujos, vermes e crustáceos, com tamanhos de corpo entre 0,2-0,5 mm (CALLISTO, 2000).

Cummins (1992) e Cremona et al. (2008) relatam que os macroinvertebrados funcionam como intermediários entre os produtores e os componentes no topo das cadeias tróficas. Eles constituem uma importante fonte alimentar para peixes juvenis e adultos, e desempenham um papel essencial na transferência de energia em lagos e rios. Os invertebrados aquáticos litorâneos podem, desta forma, constituir um elo entre a metilação do Hg e os predadores de topo. Nesse sentido, a lipossolubilidade é uma condição indispensável para o fácil transporte de metilmercúrio, através de membranas celulares, e para a bioacumulação deste elemento químico nos tecidos de um organismo (AZEVEDO et al., 2001).

Os invertebrados são os primeiros organismos impactados na teia alimentar pela biodisponibilização do Hg (FORSBERG & KEMENES, 2006). Segundo Watras et al. (1998), fatores ambientais (quantidade de Hg transportado, pH, oxigênio dissolvido e temperatura), ecológicos (produtividade e posição trófica) e fisiológicos (como a respiração e a assimilação) são determinantes para bioacumulação deste elemento nos ecossistemas aquáticos. A concentração e as espécies do Hg, o estágio de desenvolvimento do organismo, temperatura, salinidade e, em alguns casos, a taxa de fluxo da água impactam a toxicidade do Hg em invertebrados aquáticos (BOENING, 2000). O estágio de desenvolvimento do organismo (o estágio larval é particularmente o mais sensível), o desenvolvimento de tolerância às concentrações deste elemento químico, temperatura e da dureza da água são fatores que afetam a suscetibilidade dos organismos aquáticos ao Hg.

Vários autores têm avaliado a concentração de Hg em macroinvertebrados aquáticos devido ao fato de esses organismos, e os organismos que deles se alimentam, estarem expostos aos riscos de contaminação e intoxicação por mercúrio. Nesse sentido, as espécies de macroinvertebrados mais estudadas pertencem às ordens: Insecta, Mollusca e Crustacea.

Segundo Simkiss & Taylor (1989), o mercúrio pode ser incorporado por três vias de entrada nos crustáceos: (a) através da pele (processo de adsorção), (b) do alimento (ingestão), e (c) pelas brânquias (absorção). Dentro das células, os metais podem ser ligados às proteínas ou armazenados em grânulos. A distribuição interna de metais entre os tecidos do corpo é muito heterogênea, e os padrões de distribuição tendem a ser específicos para cada metal e para cada táxon. Em insetos, por exemplo, os elementos traço podem ser adsorvidos à superfície do exoesqueleto ou serem depositados no interior de sua matriz, após terem sido absorvidos e transportados pela hemolinfa (HARE, 1992).

Segundo Páez-Osuna & Ruiz Fernández (1995), a concentração de elementos traço nos tecidos de invertebrados marinhos depende da estratégia de acumulação adotada por cada

espécie para cada metal, sendo que a estratégia de acumulação resulta de diferenças entre as taxas de assimilação e excreção do metal. Pode-se somar a estas condições, que também são observadas em ambientes de água doce, o tamanho corpóreo, a longevidade e o sexo do macroinvertebrado.

Keteles & Fleeger (2001) relatam vários destinos possíveis para os elementos-traço depois de bioacumulados em organismos aquáticos. Para esses autores, algumas frações da carga destes metais estão associadas com o exoesqueleto quitinoso dos crustáceos. Nesse sentido, Bertine & Goldberg (1972) sugerem que o exoesqueleto dos crustáceos tem a capacidade de seqüestrar metais e contribuir para a eliminação destes através da ecdise. Tal seqüestro deve-se ao processo de associação existente entre metal e exoesqueleto, como relatado por Keteles & Fleeger (2001).

A quitina dos crustáceos apresenta um papel importante nesse processo, pois estando associada às proteínas, contendo grupos hidroxila, amino e tiol, pode servir como sítios de ligação para metais que podem ser bastante comuns sobre a epicutícula dos crustáceos, reforçando o potencial de associação. Caso ocorra muda em água contaminada por elementos traço, estes podem ser incorporados da fase aquosa diretamente para as superfícies recém-expostas da procutícula da exúvia (WHITE & RAINBOW, 1984). Weeks et al. (1992), relatam que a muda pode influenciar a distribuição dos metais entre tecidos moles e exoesqueleto.

Dentre os crustáceos, destacam-se os camarões, que vêm sendo avaliados por vários autores em diferentes localidades: Ruelas-Inzunza et al. (2004) estudaram a distribuição de Hg em camarões peneídeos adultos da enseada Altata na lagoa Abellon, a sudeste do golfo da Califórnia; Kurun et al. (2007) avaliaram o acúmulo de metais totais em espécies de camarão (*Palaemon adspersus*, *Palaemon serratus*, *Parapenaeus longirostris*) coletados na plataforma interna ao norte do Mar de Mármara; Sawey (2009) estudou as diferenças entre as concentrações de Hg no camarão-grama (*Palaemonetes kadiakensis*) do lago do Caddo, Texas e Molina et al. (2010) quantificou as concentrações de Hg em *Palaemonetes invonicuos* da planície de inundação do rio Beni, Amazônia Boliviana.

Os camarões são crustáceos, bons nadadores, de corpo alongado, abdômen desenvolvido e comprimido lateralmente (NARCHI, 1973). Possuem um tegumento fino e um corpo dividido em duas regiões: o cefalotórax e o abdome. A maioria deles tem um rostro proeminente com dentes dorsais e alguns gêneros com dentes na região ventral. Os olhos são pedunculados. A cabeça apresenta um par de antenas, um par de antênulas, um par de mandíbulas e dois pares de maxilas. O tórax possui três pares de maxilípedes e cinco pares de

pereópodos (patas). Os cinco primeiros somitos abdominais apresentam apêndices (pleópodos) especializados para a natação e no sexto somito os apêndices estão modificados como um leque caudal formado por um par de urópodos e um telso terminal (COSTA et al., 2003).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Avaliar as concentrações de Hg-T em camarões inteiros e compartimentalizados no rio Madeira e em alguns de seus afluentes.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Quantificar a concentração de Hg-T em camarões não-compartimentalizados e compartimentalizados sazonalmente;
- Verificar se há diferenças entre as concentrações de Hg-T nos camarões por espécie e localidades;
- Correlacionar as concentrações de Hg-T entre os tecidos hepatopancreáticos e os não-hepatopancreáticos;
- Investigar se há transferência de Hg entre os compartimentos: tecido muscular, exoesqueleto e tecido hepatopancreático;
- Verificar se a sazonalidade influencia na distribuição e densidade dos invertebrados aquáticos.

**O trabalho foi conduzido pelas seguintes hipóteses:**

- **O gênero *Macrobrachium* pode ser utilizado como biomonitor da presença de Hg na bacia do rio Madeira.** São várias as justificativas para esta hipótese, mas as que merecem destaque estão relacionadas à ampla distribuição dos camarões pertencentes a este gênero nas águas doces e salobras; além disso, numerosas espécies apresentam interesse comercial pela exploração de estoques naturais e aquacultura. Esses fatores somados a pouca mobilidade dos espécimes e a alimentação rica em matéria orgânica (proveniente do escoamento superficial, produzida na coluna d'água ou daquela proveniente da vegetação marginal que cai no leito dos rios), também corroboram para sua utilização em biomonitoramentos, pois as características mencionadas refletem bem o possível grau de contaminação desse ambiente por Hg.

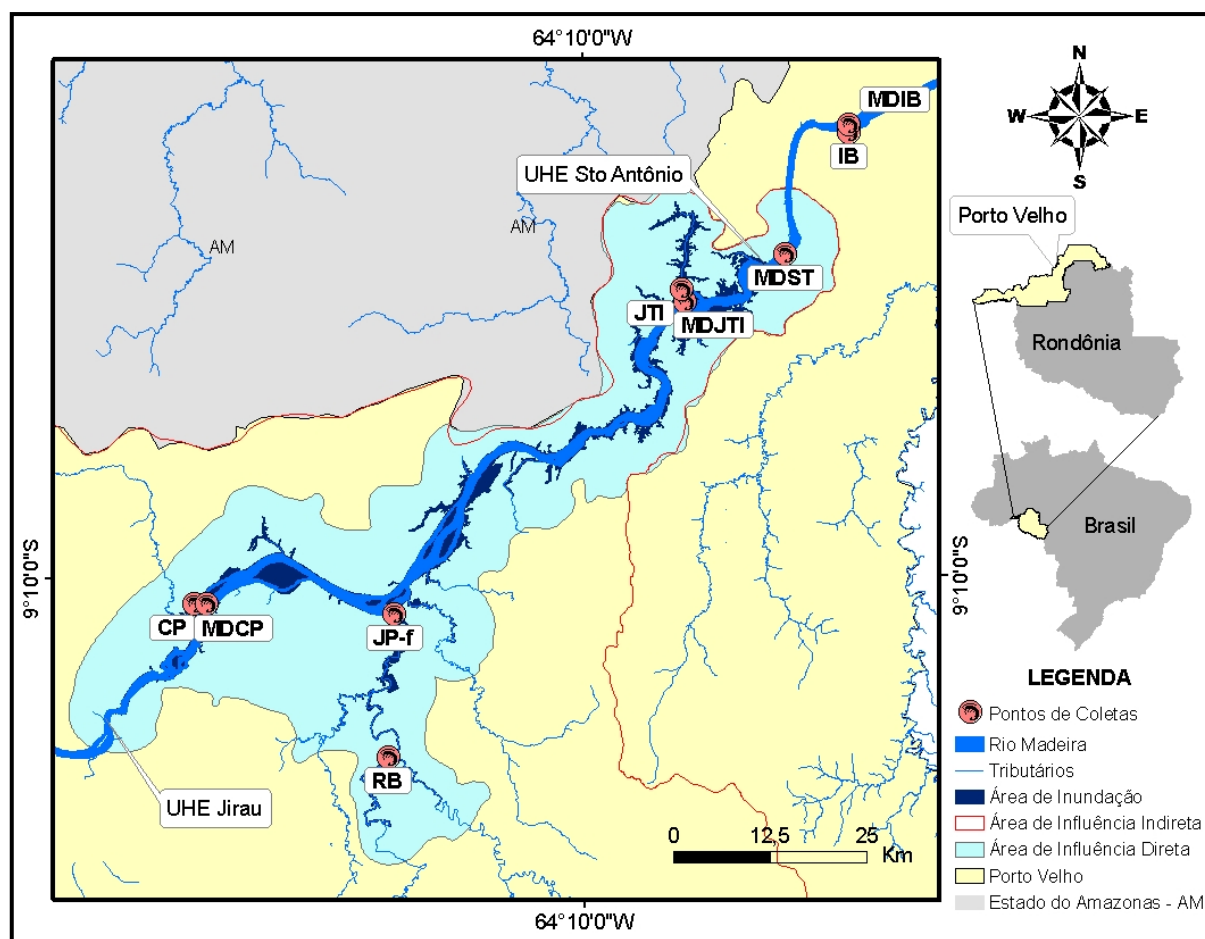
- **A sazonalidade influencia na concentração de Hg em espécies de camarão do gênero *Macrobrachium*.** Sabe-se que o sistema hídrico da Amazônia é fortemente influenciado pelo regime de chuvas, assim toda a biota pode estar suscetível às conseqüentes variações decorrentes de mudanças na sazonalidade. Essas variações estão principalmente associadas às alterações nas condições físico-químicas do meio abiótico e à escassez alimentar que podem favorecer, respectivamente, a biodisponibilização e a bioacumulação do Hg em camarões. A escassez de alimento conduz a busca de novos nichos e fontes alimentares, que quando não são suficientes para toda a população conduz a competição intra-específica e ao canibalismo entre os espécimes, favorecendo a bioacumulação do Hg.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na região de influência onde está sendo construída a Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, com ênfase no rio Madeira e alguns de seus afluentes: rios Jaci-Paraná e Branco, além dos igarapés Caripuna, Jatuarana I e Belmont. Esses rios/igarapés pertencem à sub-bacia hidrográfica do Alto rio Madeira (a exceção do igarapé Belmont) que faz parte do Médio rio Madeira, ocupando uma área de 7.037, 81 61 Km<sup>2</sup> e perímetro de 707,82 Km<sup>2</sup> (SEDAM, 2002) (Figura 01).



**Figura 01.** Localização da área de estudo.

**Legenda das siglas:** RB: Rio Branco, JP-f: Rio Jaci-Paraná (fz), CP: Igarapé Caripuna, MDCP: Rio Madeira frente ao Caripuna, JTI: Igarapé Jatuarana I, MDJTI: Rio Madeira frente ao Jatuarana I, MDST: Rio Madeira frente a Santo Antônio, IB: Igarapé Belmont e MDIB: Rio Madeira frente ao igarapé Belmont.

### 3.2 AMOSTRAGEM

As coletas foram realizadas em julho de 2008 e agosto de 2009 (períodos de vazante), novembro de 2009 (águas baixas) e maio de 2010 (águas altas), sendo que nove localidades foram amostradas: rio Branco, Igarapé Jatuarana I, rio Jaci-Paraná-fóz, Igarapé Caripuna, Igarapé Belmont, rio Madeira frente ao igarapé Caripuna, rio Madeira frente ao Igarapé Jatuarana I, rio Madeira frente a Santo Antônio e rio Madeira frente ao igarapé Belmont.

Nas amostragens foi utilizada uma peneira de arroz (4 mm entre nós adjacentes) e uma rede de arraste (7 mm entre nós adjacentes), sendo que se padronizou um esforço de procura de 10 minutos para o peneiramento do sedimento e da vegetação aquática marginal (BUSS & BORGES, 2008). Os exemplares coletados foram armazenados em garrafas de polietileno com a água do rio/igarapé onde foram coletados (Figuras 02-07).



**Figura 02.** *M. jelskii*

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



**Figura 03.** *M. jelskii* entre os folhícos.

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



**Figura 04.** *M. jelskii*

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



**Figura 05.** Coleta de camarões em uma ilha no rio Madeira.

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



**Figura 06.** Coleta de camarões no igarapé Caripuna.

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



**Figura 07.** Coleta de camarões no Igarapé Jatuarana.

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.

### 3.3 IDENTIFICAÇÃO

Alguns exemplares de camarões foram fixados em álcool 70% e enviados para identificação no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), com auxílio de uma lupa estereoscópica, pelo pesquisador Célio Magalhães, conforme as chaves e descrições disponíveis em (HOLTHUIS, 1952; GARCÍA-DÁVILA, & MAGALHÃES, 2003). Três espécies foram identificadas e consideradas nesse estudo:

- *Macrobrachium brasiliense*,
- *Macrobrachium depressimanum* e
- *Macrobrachium jelskii*

A descrição dessas espécies encontra-se no Apêndice A.

### 3.4 ANÁLISES QUÍMICAS

Em laboratório, os camarões foram lavados com água deionizada, separados por espécie, medidos quanto ao comprimento total (cm), da extremidade do rostro a porção posterior do telson, utilizando um paquímetro de aço, 150mm x 0,02mm REF – 8069 Brasfort® (Figura 08), e pesados em balança analítica (Modelo AM 220) (Figura 09). Esses indivíduos foram armazenados em freezer (-18°C) até o dia da análise.

Alguns camarões foram analisados, quanto à concentração de Hg-T, individualmente e por inteiro, enquanto outros foram compartimentalizados em exoesqueleto, músculo e hepatopâncreas, para verificar por qual desses tecidos o Hg teria maior afinidade. A seleção

dos camarões que seriam analisados por inteiro ou de forma compartimentalizada foi realizada aleatoriamente. Para a compartimentalização, os camarões foram organizados por classes de tamanho, conforme Spiegel & Stephens (1999).



**Figura 08.** Medidas biométricas.

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer.



**Figura 09.** Pesagem.

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer.

Após a pesagem, os camarões foram adicionados em tubos de teflon do equipamento de microondas específico para garantir a solubilização e extração química de amostras (CEM, MDS-2000), com frequência de 2450 MHz (comprimento de onda de 12,2 cm) e com 3 estágios (Figuras 10-11, quadro 01). Antes de serem inseridas no forno de microondas adicionou-se às amostras 1 mL de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), para solubilização do tecido adiposo, 3 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$  65%), para extração do Hg da amostra, e 3 mL de permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$  5%) para oxidar o Hg nas amostras. Após a solubilização química, as amostras foram transferidas para frascos de polietileno de 14 mL (SARSTEDT) onde foram adicionadas duas gotas de  $\text{KMnO}_4$  a 5%. As amostras permaneceram em repouso.

No dia seguinte, adicionou-se gotas de cloridrato de hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$ ) à 12% aos tubos de 14 mL (até viragem da coloração por titulação) para liberar o Hg oxidado na amostra (Adaptado de BASTOS, 1998). Na determinação de Hg-T, previamente foram preparados padrões de calibração de Hg nas concentrações de 1,00; 2,00; 5,00; 8,00 e 10,00  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ , partindo-se de uma solução *stock* de 1000  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$  e, em seguida, as concentrações foram obtidas através da técnica de espectrofotometria de absorção atômica com geração de vapor frio (FIMS-400, fabricado por Perkin-Elmer).





**Figura 10.** Adição de reagentes às amostras de camarão em tubos de teflon

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer



**Figura 11.** Amostras em processo de digestão no microondas

**Fonte:** Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer

**Quadro 1:** Programa do forno de microondas para extração química das amostras de camarão.

Estágio	1	2	3
Potência (%)	50	100	100
Tempo (min.)	10	10	10
Pressão (psi)	50	80	100

Após lavagem e medição quanto ao comprimento total, os camarões foram separados por espécie e agrupados por classes de tamanho, conforme Spiegel & Stephens (1999). Em seguida, retirou-se a cabeça, o tecido hepatopancreático e o exoesqueleto dos camarões. O tecido hepatopancreático foi depositado em filtros de celulose, previamente desumidificados em estufa a 80°C por 24 h e pesados. Os hepatopâncreas foram pesados nesses filtros e a extração química foi realizada em bloco digestor adicionando-se 1 mL de  $H_2O_2$ , 5 mL de solução sulfonítrica ( $HNO_3 + H_2SO_4, 1:1$ ) e 5 mL de  $KMnO_4$  a 5% às amostras que permaneceram em repouso. No dia seguinte adicionou-se gotas de  $NH_2OH.HCl$  (BASTOS, 1998). Músculos e carapaças foram extraídos quimicamente, em forno de microondas, conforme descrito acima.

### 3.5 CONTROLE DE QUALIDADE

Para controle de qualidade das análises químicas, as amostras foram acompanhadas de dois brancos controles, por análise, cujo valor médio, foi subtraído de possíveis contaminações do ambiente de trabalho ou reagentes utilizados nas extrações químicas. É importante ressaltar que todo o material utilizado, a exemplo dos frascos de polietileno e dos tubos de ensaio, foi lavado com sabão neutro e por 24 hs permaneceu em solução de ácido nítrico 5% para descontaminação.

A fórmula abaixo demonstra como foi calculado o Limite de Detecção da Técnica:

$$\text{LDT} = \frac{\text{médias dos resultados dos brancos} \times \text{médias dos volumes finais}}{\text{médias das massas}}$$

Para se ter certeza do grau analítico dos resultados obtidos, utilizou-se duas amostras de referência certificadas IAEA-142 e DORM-2, além de uma amostra de referência interna AFPX 5130, todas em duplicata, por cada rodada de análise. As amostras de camarões não foram analisadas em duplicatas, devido às massas terem sido insuficientes para réplicas, mas é importante frisar que a precisão e a exatidão dos resultados obtidos são justificadas pelo fato do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer (onde foram realizadas as análises químicas) participar de intercalibrações analíticas.

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Utilizou-se o software XLSTAT versão 2010 para realização dos seguintes procedimentos estatísticos: estatística descritiva (mínimo, máximo, média e desvio padrão), teste de normalidade (Shapiro Wilks, S-W) e Análise de Variância por Postos (Kruskal – Wallis, K-W). O software Statistica 7.0 versão 2004 foi utilizado para a elaboração dos gráficos das Correlações.

Os resultados da estatística descritiva objetivaram descrever os dados de forma simplificada e o teste de normalidade Shapiro-Wilks (S-W), foi escolhido, com a finalidade de verificar se os dados apresentavam distribuição normal. Os dados também foram submetidos a

transformações logarítmicas (ln), para padronizá-los a possível distribuição normal, quando esta não foi obtida a partir dos dados brutos.

O teste de Kruskal-Wallis foi aplicado, por não exigir normalidade das variáveis, nem homogeneidade das variâncias entre os tratamentos, com objetivo de detectar diferenças significativas entre eles através de comparações múltiplas envolvendo todos os pares de tratamentos. Para identificar variáveis responsáveis por diferenças significativas aplicou-se o teste de *Dunn* que realizou comparações múltiplas entre as amostras e as agrupou de acordo com suas semelhanças (ZAR, 1996).

O teste de correlação visou avaliar a existência de relação entre o comportamento das variáveis e em que medida se deu tal interação. Segundo Jacques-Callegari (2003), uma vez determinada a existência de correlação na população, pode-se avaliá-la qualitativamente quanto à intensidade, usando o critério apresentado na tabela 02. Os critérios mencionados por esta autora foram os utilizados neste trabalho. É importante mencionar que todos os testes estatísticos foram realizados ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

**Tabela 02:** Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.

<b>r</b>	<b>A correlação é dita</b>
0	Nula
0-0,3	Fraca
0,3-0,6	Regular
0,6-0,9	Forte
0,9-1	Muito forte
1	Plena ou perfeita

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total de 402 camarões com indivíduos pertencentes à *M. brasiliense*, *M. depressimanum* e *M. jelskii* foram coletados em quatro pontos no rio Madeira: rio Madeira frente ao Igarapé Caripuna, frente ao Igarapé Jatuarana I, frente à cachoeira Santo Antônio e frente ao Igarapé Belmont. Ainda foram amostrados camarões no rio Branco, rio Jaci-Paraná (fóz), Igarapé Jatuarana I, Igarapé Belmont e Igarapé Caripuna. Algumas larvas de camarões também foram coletadas, mas identificadas apenas até o nível de gênero, sendo que todas pertenceram ao *Macrobrachium* (tabela 03).

Houve esforço de procura por camarões em todos os pontos de coleta, nos quatro períodos de amostragem, entretanto, esses espécimes foram amostrados em julho de 2008, agosto e novembro de 2009 e em maio de 2010, sendo que 189 foram analisados, quanto às concentrações de Hg-T, de forma não compartimentalizada e 213 compartimentalizados em tecido muscular (TM), exoesqueleto (EX) e tecido hepatopancreático (TM), agrupados por classes de tamanho. Em maio de 2009, apesar do esforço de procura não foram amostrados camarões, acredita-se que por ser um período de águas altas tenha favorecido a dispersão dos espécimes.

De uma forma geral, os camarões foram amostrados em áreas rasas (cerca de 50 cm de profundidade), alagadas e cobertas por folhas. Também foram encontrados em folhiços próximos às margens dos rios/igarapés, nas raízes de plantas aquáticas e no fundo arenoso com pouca matéria orgânica. Faixas litorâneas de ilhas também foram amostradas, caso de uma no rio Madeira em frente ao igarapé Caripuna.

*M. jelskii* foi coletada em grandes quantidades no rio Branco em agosto de 2009 e, principalmente, na fóz do rio Jaci-Paraná em julho de 2008. *M. brasiliense* foi outra espécie coletada em abundância, mas no igarapé Caripuna em agosto de 2009, enquanto *M. depressimanum* foi coletada em maior número no rio Madeira em novembro de 2009 (tabela 03).



**Tabela 03.** Quantitativo de camarões amostrados por período nas diferentes localidades amostradas.

Localidades	Período do ano	N	Espécie
I. Caripuna	Ago/09	46	<i>M. brasiliense</i>
I. Belmont	Jul/08	06	<i>M. brasiliense</i>
I. Jatuarana I	Ago/09	02	<i>M. brasiliense</i>
R. Branco	Jul/08	27	<i>M. jelskii</i>
R. Branco	Ago/09	74	<i>M. jelskii</i>
R. Jaci-Paraná	Jul/08	90	<i>M. jelskii</i>
R. Jaci-Paraná	Ago/09	36	<i>M. jelskii</i>
R. Madeira em frente ao igarapé Belmont	Nov/09	16	Juvenis de <i>Macrobrachium</i>
R. Madeira em frente a cachoeira Santo Antônio	Nov/09	05	Juvenis de <i>Macrobrachium</i>
R. Madeira em frente ao Igarapé Caripuna	Nov/09	06	Juvenis de <i>Macrobrachium</i>
R. Madeira em frente ao Igarapé Caripuna	Nov/09	82	<i>M. depressimanum</i>
R. Madeira em frente ao Igarapé Jatuarana	Mai/10	12	<i>M. depressimanum</i>

As três espécies não puderam ser biomonitoradas em todas as estações e períodos de coleta, devido às flutuações sazonais, como relatado por Odum (2008). Os camarões foram mais abundantes em julho de 2008 e agosto de 2009 (ambos períodos de vazante). Em novembro de 2009 uma ilha no rio Madeira, frente ao igarapé Caripuna, apresentou grande abundância de espécimes. É importante ressaltar que o ano em questão foi bastante atípico, o mês de novembro foi um exemplo, pois esse período típico de clima seco foi marcado por fortes chuvas - ainda assim foram coletados camarões em grande quantidade.

Essa abundância dos camarões pode estar relacionada com a sazonalidade a que estão submetidos os rios amazônicos. Durante a enchente, grandes extensões de floresta são inundadas e permanecem assim por meses; nesse período, o aumento do fluxo de água poderia estar atuando sobre os indivíduos, dispersando-os, fato que diminuiria as probabilidades de acasalamento e, conseqüentemente a abundância de espécimes. Lobão et al. (1978), corroboram com esta hipótese ao relatarem que existe uma relação inversa entre a reprodução e o índice de precipitação pluviométrica. Na época em que as chuvas são mais abundantes a desova é menor.

Semelhantemente Collart (1993), relata que no lago do Rei, várzea da Amazônia Central, as capturas de *M. amazonicum* apresentam uma variação sazonal. Entretanto, nos lagos de várzea, elas são máximas na enchente devido à expansão das macrófitas aquáticas,

que são o hábitat preferido desta espécie, e mínimas na cheia devido a uma grande dispersão espacial dos indivíduos com o aumento do volume de água. Na margem do rio Amazonas, as capturas máximas são observadas na seca, quando os camarões migram para fora dos lagos de várzea, e mínimas na enchente devido à velocidade muito alta da correnteza da água, que diminui a capturabilidade da espécie.

A abundância de *M. brasiliense*, *M. depressimanum* e *M. jelskii* pode, portanto, estar relacionada a diversos fatores, dentre eles: ao período em que foram amostrados (vazante e águas baixas), às condições físico-químicas das localidades (tabela 17, apêndice B) e ao método de coleta, que pode ter sido seletivo.

Esteves (1998) relata que os zoobentos têm sua distribuição controlada por vários fatores; dentre eles, destacam-se: disponibilidade e qualidade do alimento; tipo de sedimento (orgânico, arenoso, argiloso, etc.); substrato (pedra, madeira, etc.); temperatura do meio; concentração de oxigênio e gás sulfídrico; e, principalmente, a correnteza que constitui um importante fator ambiental na distribuição dos organismos zoobentônicos em rios.

Sobre disponibilidade e qualidade do alimento, Kensley & Walker (1982) mencionam que as espécies pertencentes ao gênero *Macrobrachium* saem de seu abrigo, em busca de presas que estão próximas, e as arrastam para o seu interior. A análise do conteúdo estomacal de algumas espécimes, pertencentes a este gênero e realizada pelas autoras acima mencionadas, sugerem espécies de hábito alimentar onívoro, que se alimentam de fungos, algas, esponjas, larvas de quironomídeos, coleópteros adultos, artrópodes, ovos de invertebrados, areia, finos grãos de sedimento etc.

#### **4.1 CONCENTRAÇÕES DE Hg-T EM CAMARÕES NÃO COMPARTIMENTALIZADOS**

Os resultados da recuperação média das amostras de referência certificada DORM 2 e IAEA 142 e da amostra de referência interna AFPX 5130, indicam que os resultados de Hg-T quantificados nos camarões em estudo foram obtidos de forma confiável (Tabela 04). O limite de detecção para esta técnica foi:  $0,924 \mu\text{g.kg}^{-1}$

**Tabela 04.** Concentração de Hg-T em amostras de Referência Certificadas de peixe e molusco ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ).

Amostras de Referência	Valor de Referência		Valor do Laboratório de Biogeoquímica (UNIR)		Recuperação Média (%)
	Média±DP	Intervalo	Média±DP	Intervalo	
<b>AFPX 5130</b>	13,87±0,860	12,90-14,40	13,79±2,52	11,28-16,31	99
<b>DORM 2</b>	4,64±0,260	4,38-4,90	4,60±0,24	4,60-4,890	99
<b>IAEA 142</b>	0,126±0,007	0,11-0,13	0,11±0,75	0,0097-0,012	89

A tabela 05 apresenta as concentrações médias de Hg-T quantificadas para os camarões não compartimentalizados. Pode-se perceber que todas as concentrações médias apresentam-se inferiores ao limite máximo de Hg-T permitido em peixes não-carnívoros e produtos da pesca (camarões, caranguejos, lagostas e outros) pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)  $0,50 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Os valores em negrito correspondem às maiores concentrações de Hg-T quantificadas.

**Tabela 05.** Estatística descritiva das concentrações de Hg-T de camarões coletados na bacia rio Madeira analisados de forma não compartimentalizada.

Esp/Loc	Período	N	Mínimo	Máximo	Média*	Desvio padrão
MjRB	Jul/08	27	0,031	0,275	0,068	0,046
MjJP-f	Jul/08	90	0,020	0,687	<b>0,126</b>	0,122
MbIB	Jul/08	06	0,145	0,649	<b>0,309</b>	0,222
MbCP	Ago/09	43	0,070	0,178	<b>0,110</b>	0,037
M.MDIB	Nov/09	16	0,008	0,121	0,043	0,038
M.MDST	Nov/09	05	0,069	0,235	<b>0,125</b>	0,096
M.MDCP	Nov/09	02	0,029	0,076	0,053	0,033

\* Valores em  $\text{mg.kg}^{-1}$

**Legenda:**

MjRB: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco;

MjJP-f: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná-foz;

MbIB: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Belmont;

MbCP: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Caripuna;

M.MDIB: *Macrobrachium* coletado em uma ilha no rio Madeira frente ao igarapé Belmont;

M.MDST: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente a cachoeira de Sto Antônio;

M.MDCP: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripunas.

*M. brasiliense* coletada no igarapé Belmont chamou a atenção por apresentar as maiores concentrações mínimas, máximas e média de Hg-T. Certamente essas concentrações elevadas estão associadas ao grau de contaminação por este elemento químico neste igarapé, cuja influência antrópica se manifesta pelo lançamento de efluentes domésticos e lixo

residencial proveniente da cidade de Porto Velho, justificando suas concentrações de Hg. Apesar de ter sido encontrada em número relativamente pequeno acredita-se que esta espécie tenha representado bem o grau de contaminação do micro hábitat do igarapé Belmont que apresentou concentração de  $0,044 \pm 0,000 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg-T (julho de 2008).

Sawey (2009) encontrou  $0,50 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg-T em *Palaemonetes kadiakensis* (camarão-grama), coletada no lago formado pelo reservatório do Caddo, na fronteira do Texas com Louisiana, EUA. Ao comparar a concentração média encontrada por este autor, com as encontradas neste trabalho, percebe-se que todas são inferiores. Entretanto, é importante destacar que os indivíduos *M. brasiliense* do igarapé Belmont apresentaram concentrações médias próximas à encontrada por Sawey (2009). Molina et al. (2010), ao pesquisarem o lago da planície de inundação do rio Beni encontraram  $0,452 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg-T em *Palaemonetes invonicuos* no período de enchente e  $0,275 - 0,881 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg-T na estação de águas baixas. Estas concentrações também são superiores às encontradas neste estudo.

Indivíduos imaturos de *Macrobrachium* amostrados no rio Madeira frente a cachoeira Santo Antônio apresentaram elevadas concentrações médias de Hg ( $0,125 \pm 0,096 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Os camarões juvenis constituem importantes agentes de bioturbação do sedimento, já que nos estágios iniciais de suas vidas vivem mais próximos ao fundo dos corpos hídricos e tem nesses ambientes sua principal fonte de alimento. A remobilização do material depositado no sedimento superficial de fundo dos rios pode influenciar a biodisponibilização do Hg (SOUZA, et al., 2008). A alta concentração de Hg em indivíduos imaturos pode estar relacionada ao fato do estágio larval ser aparentemente o mais sensível do ciclo de vida dos invertebrados (BOENING, 2000).

A tabela 06 apresenta os resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilks ( $\alpha = 0,05$ ) que foi aplicado aos resultados de Hg-T nas diferentes espécies por localidade. Apenas *M. brasiliense* e indivíduos juvenis deste gênero, ambos amostrados no igarapé Caripuna, apresentaram distribuição normal. É importante ressaltar que se tentou ajustar todos os dados a uma distribuição normal utilizando o algoritmo logaritmo natural (ln), entretanto, como a maioria das variáveis ainda continuou não apresentando esse tipo de distribuição, optou-se pelo uso dos dados brutos para realização dos testes estatísticos.

**Tabela 06.** Teste de normalidade Shapiro-Wilks ( $\alpha = 0,05$ ) da variável Hg-T em camarões na bacia rio Madeira.

<b>Esp/Loc</b>	<b>W</b>	<b>p-valor</b>
MjRB	0,5870	<0,0001
MjJP-f	0,6990	<0,0001
MbIB	0,7610	0,0250
MbCP	<b>0,9360</b>	<b>0,5710</b>
M.MDIB	0,8040	0,0450
M.MDST	0,7520	0,0030
M.MDCP	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>

**Legenda:**

MjRB: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco;

MjJP-f: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná-fóz;

MbIB: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Belmont;

MbCP: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Caripuna;

M.MDIB: *Macrobrachium* coletado em uma ilha no rio Madeira frente ao igarapé Belmont;

M.MDST: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente a cachoeira de Sto Antônio;

M.MDCP: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripunas.

Violadas as pressuposições de normalidade a alternativa foi o teste de Kruskal-Wallis (K-W). O resultado dessa estatística (K-W = 30,38; gl = 6;  $p < 0,0001$ ) indicou que os valores médios dos grupos de variáveis diferiram estatisticamente. Desta forma, pode-se afirmar que pelo menos uma variável ou grupo de variáveis é diferente do outro. O teste de K-W foi complementado pelo teste de Dunn para comparações múltiplas (Tabela 08), com objetivo de identificar quais variáveis foram responsáveis por essa diferença estatística (para maiores esclarecimentos sobre os resultados das diferenças significativas obtidas através do teste de Dunn ver tabelas 13 e 14 do apêndice B).

**Tabela 07.** Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de *Dunn*.

[Hg]   Esp/Loc	Soma das ordenações	Média das ordenações	Grupos	
[Hg]   M.MDIB	173,000	24,714	A	
[Hg]   M.MDCP	88,000	44,000	A	B
[Hg]   MjRB	1403,000	51,963	A	B
[Hg]   MjJP-f	6843,000	76,033		B
[Hg]   M.MDST	269,000	89,667		B
[Hg]   MbCP	768,000	96,000		B
[Hg]   MbIB	752,000	125,333		B

**Legenda:**

MjRB: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco;

MjJP-f: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná-foz;

MbIB: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Belmont;

MbCP: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Caripuna;

M.MDIB: *Macrobrachium* coletado em uma ilha no rio Madeira frente ao igarapé Belmont;

M.MDST: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente a cachoeira de Sto Antônio;

M.MDCP: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripunas.

O teste de *Dunn* identificou quatro diferenças significativas entre as comparações (ver tabela 14, apêndice B). Dois grupos foram formados através das comparações múltiplas pareadas entre as variáveis (Tabela 07), sendo que M.MDCP e MjRB fazem parte tanto do grupo A quanto do B.

M.MDIB mostrou-se diferente significativamente de MjJP-f, MbIB e MbCP. MjRB e MbIB também mostraram-se diferentes significativamente (tabela 14, apêndice B). As diferenças significativas observadas entre esses grupos indicam diferenças nas concentrações médias de Hg-T, enquanto que a ausência de diferença se deve às semelhanças entre essas concentrações. Por exemplo, M.MDCP e MjRB apresentam praticamente a mesma concentração média de Hg-T ( $0,053$  e  $0,068 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente, logo não diferem), enquanto, MbIB apresenta mais que o triplo da concentração de M.MDIB ( $0,309$  e  $0,043 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente, diferindo significativamente), tal concentração é praticamente a mesma de M.MDCP ( $0,053 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

## 4.2 CONCENTRAÇÕES DE Hg-T EM CAMARÕES COMPARTIMENTALIZADOS

As concentrações médias de Hg-T quantificadas, por espécie e localidade, para os diferentes tecidos dos camarões compartimentalizados encontram-se na tabela 08. Pode-se perceber que esses grupos também apresentaram concentrações médias de Hg-T inferiores ao

limite máximo permitido pela ANVISA. Os valores em negrito correspondem às maiores concentrações de Hg-T quantificadas.

**Tabela 08.** Estatística descritiva das concentrações de Hg-T em  $\text{mg.kg}^{-1}$  no tecido muscular (TM), exoesqueleto (EX) e hepatopancreático (TH) nas espécies de camarões das diferentes localidades.

Tecidos	Esp/Loc	Período	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
TM	MjRB	Ago/09	74	0,003	0,042	0,016	0,016
TM	MjJP-f	Ago/09	36	< 0,0009	0,030	0,016	0,013
TM	MdMDCP	Nov/09	82	< 0,0009	0,040	0,019	0,014
TM	M.MDCP	Nov/09	4	0,024	0,035	0,030	0,007
TM	MdMDJTI	Mai/10	12	0,010	0,019	0,014	0,004
TM	MbJTI	Ago/09	2	0,084	0,084	0,084	-
TM	MbCP	Nov/09	3	0,028	0,028	0,028	-
EX	MjRB	Ago/09	74	0,003	0,019	0,010	0,006
EX	MjJP-f	Ago/09	36	0,021	0,048	0,035	0,015
EX	MdMDCP	Nov/09	82	0,019	0,055	0,033	0,013
EX	M.MDCP	Nov/09	4	0,034	0,066	0,050	0,022
EX	MdMDJTI	Mai/10	12	0,007	0,033	0,022	0,010
EX	MbJTI	Ago/09	2	0,213	0,213	<b>0,213</b>	-
EX	MbCP	Nov/09	3	0,045	0,045	0,045	-
TH	MjRB	Ago/09	74	0,016	0,172	0,070	0,062
TH	MjJP-f	Ago/09	36	0,086	0,180	<b>0,141</b>	0,040
TH	MdMDCP	Nov/09	82	0,096	0,217	<b>0,160</b>	0,045
TH	M.MDCP	Nov/09	4	0,135	0,240	<b>0,188</b>	0,074
TH	MdMDJTI	Mai/10	12	0,028	0,174	<b>0,102</b>	0,056
TH	MbJTI	Ago/09	2	0,387	0,387	<b>0,387</b>	-
TH	MbCP	Nov/09	3	0,034	0,034	0,034	-

**Legenda:**

MjRB: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco;

MjJP-f: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná-foz;

MdMDCP: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripuna;

M.MDCP: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripunas.

MdMDJTI: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao Igarapé Jatuarana I;

MbJTI: *Macrobrachium brasiliense* coletado no Igarapé Jatuarana I.

MbCP: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Caripuna.

LDT: Limite de Detecção da Técnica.

Observou-se que dentre os três tecidos, as maiores concentrações encontraram-se nos tecidos hepatopancreáticos, que apresentaram a maioria das concentrações superiores a  $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  (à exceção de um grupo de *M. brasiliense* coletado no Igarapé Jatuarana I que também apresentou concentrações de Hg-T elevadas no exoesqueleto). Estes resultados de Hg-T elevados em tecidos hepatopancreáticos, já eram esperados, tendo em vista as inúmeras

funções que esta glândula digestória desempenha, principalmente com relação à detoxificação e ao acúmulo de minerais utilizados na muda.

Hui et al. (2005) determinaram as concentrações de Hg-T em tecidos hepatopancreáticos e não hepatopancreáticos de *Eriocheir sinensis* (caranguejos) do sul da bacia do rio São Francisco, Califórnia, EUA. Nove indivíduos coletados no riacho Coyote e 11 no São Tomás de Aquino (ambos tributários do rio São Francisco) apresentaram em seus tecidos hepatopancreáticos  $0,269 \pm 0,375 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $0,155 \pm 0,105 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg-T, respectivamente. As concentrações de Hg-T nos tecidos não hepatopancreáticos foram, respectivamente,  $0,082 \pm 0,022 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $0,062 \pm 0,018 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Percebe-se que as concentrações encontradas por estes autores são semelhantes às deste trabalho quando se fala em Hg-T em tecido hepatopancreático; no entanto, as concentrações de Hg-T dos tecidos musculares deste estudo, mostraram-se inferiores às encontradas por Hui et al. (2005), a exceção de um grupo de *M. brasiliense* do Igarapé Jatuarana I.

A tabela 09 apresenta os resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilks ( $\alpha = 0,05$ ) que foi aplicado aos resultados de Hg-T nos diferentes tecidos, por espécie e localidade. De uma forma geral o Hg-T apresentou distribuição normal em todos os tecidos, a exceção dos tecidos muscular e hepatopancreático de *M. jelskii* do rio Branco. O procedimento de ajuste à distribuição normal utilizando o algoritmo *ln*, também não obteve sucesso para todas as variáveis, por isso optou-se por utilizar os dados brutos para realização dos testes estatísticos.

Hui et al. (2005), ainda perceberam que a concentração de Hg-T nos tecidos hepatopancreáticos declinou com o aumento do tamanho corpóreo do caranguejo. Esse declínio também foi observado nos tecidos hepatopancreáticos dos camarões, entretanto, antes dele ocorrer, há um aumento dessas concentrações (Tabela 10), o que não quer dizer que existem diferenças significativas entre as concentrações de Hg-T quantificadas por Hui et al e as deste estudo, pois ambas são bem próximas e o tecido hepatopancreático funciona como órgão detoxificador nas duas situações ao acumular e eliminar o Hg do organismo dos indivíduos.



**Tabela 09.** Resultados do teste de normalidade S-W realizado para tecido muscular (TM), exoesqueleto (EX) e hepatopancreático (TH) das diferentes espécies por localidades.

<b>Tecido   Esp/Loc</b>	<b>W</b>	<b>p-valor</b>
<b>TM   MjRB</b>	<b>0,793</b>	<b>0,017</b>
TM   MjJP-f	0,978	0,889
TM   MdMDCP	0,932	0,611
TM   MdMDJTI	0,934	0,627
TM   M.MDCP	1,000	1,000
EX   MjRB	0,950	0,690
EX   MjJP-f	0,811	0,124
EX   MdMDCP	0,867	0,253
EX   MdMDJTI	0,935	0,631
EX   M.MDCP	1,000	1,000
<b>TH   MjRB</b>	<b>0,816</b>	<b>0,031</b>
TH   MjJP-f	0,942	0,668
TH   MdMDCP	0,978	0,923
TH   MdMDJTI	0,989	0,978
TH   M.MDCP	1,000	1,000

**Legenda:**

MjRB: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco;

MjJP-f: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná-fóz;

MdMDCP: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripuna;

M.MDCP: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripunas.

MdMDJTI: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao Igarapé Jatuarana I;

MbJTI: *Macrobrachium brasiliense* coletado no Igarapé Jatuarana I.

MbCP: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Caripuna.

A respeito dos valores de Hg-T nos três compartimentos analisados, percebe-se que as concentrações são menores nos tecidos musculares e maiores no tecido hepatopancreático. Esse aumento de Hg-T entre os compartimentos (tecido muscular, exoesqueleto e tecido hepatopancreático, respectivamente) foi observado em todos os grupos reunidos por período e classes de tamanho, a exceção dos grupos destacados em negrito (Tabela 10).

Nimmi (1983) atribui a redução da concentração de  $Hg^{2+}$  no músculo ao fenômeno de diluição biológica. O aumento da massa muscular é superior ao aumento da contaminação, que acaba por diluir o contaminante presente no tecido. Em contraste, um estudo realizado por Bertine & Goldberg (1972), com camarões marinhos *Crangon crangon*, quantificou níveis de elementos traço em exoesqueletos tão altos quanto nos tecidos, onde as concentrações de Hg-T encontradas por esses autores foi  $1,30 \text{ mg.kg}^{-1}$ , tanto em exoesqueleto, quanto em tecido muscular.

**Tabela 10.** Concentrações de Hg-T em TM, EX e TH de camarões por período e classes de tamanho.

Período	Esp/Loc	N	CT	[Hg] TM	[Hg] EX	[Hg] TH
ago/09	MjRB1	7	2,9-3,42	0,0030	0,0100	0,0160
ago/09	MjRB2	9	3,42-3,94	0,0050	0,0050	0,0220
ago/09	MjRB3	35	3,94-4,46	0,0030	0,0030	0,0200
ago/09	MjRB4	16	4,46-4,98	0,0030	0,0040	0,0220
ago/09	MjRB5	1	4,98-5,5	0,0050	0,0090	0,0340
ago/09	MjJP-f1	3	2,3-3,0	0,0300	0,0480	0,0860
ago/09	MjJP-f2	8	3,0-3,8	0,0120	0,0460	0,1580
ago/09	MjJP-f3	23	3,8-4,5	0,0230	0,0230	0,1800
ago/09	MjJP-f4	2	4,5-5,2	<0,0009	0,0210	0,1400
<b>nov/09</b>	<b>MjRB6</b>	<b>3</b>	<b>3,6-3,9</b>	<b>0,0390</b>	<b>0,0170</b>	<b>0,1180</b>
<b>nov/09</b>	<b>MjRB7</b>	<b>1</b>	<b>4,3-4,6</b>	<b>0,0420</b>	<b>0,0190</b>	<b>0,1520</b>
<b>nov/09</b>	<b>MjRB8</b>	<b>1</b>	<b>4,6-5,0</b>	<b>0,0220</b>	<b>0,0130</b>	<b>0,1720</b>
<b>nov/09</b>	<b>MjRB9</b>	<b>1</b>	<b>5,0-5,4</b>	<b>0,0220</b>	<b>0,0120</b>	<b>0,0740</b>
nov/09	MdMDCP1	8	1,5-1,9	0,0400	0,0550	0,1710
nov/09	MdMDCP2	18	1,9-2,3	0,0160	0,0290	0,1770
nov/09	MdMDCP3	37	2,3-2,7	0,0200	0,0320	0,2170
nov/09	MdMDCP4	14	2,7-3,1	0,0180	0,0270	0,1380
nov/09	MdMDCP5	5	3,1-3,6	<0,0009	0,0190	0,0960
nov/09	M.MDCP1	2	1,8-1,9	0,0240	0,0340	0,1350
nov/09	M.MDCP2	2	2,0-2,1	0,0350	0,0660	0,2400
mai/10	MdMDJT1	3	1,2-1,32	0,0190	0,0270	0,0780
mai/10	MdMDJT2	2	1,32-1,44	0,0160	0,0210	0,1350
mai/10	MdMDJT3	3	1,44-1,56	0,0100	0,0330	0,1740
<b>mai/10</b>	<b>MdMDJT4</b>	<b>1</b>	<b>1,56-1,68</b>	<b>0,0120</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0280</b>
mai/10	MdMDJT5	3	1,68-1,8	0,0120	0,0220	0,0930
ago/09	MbJT1	2	1,7-1,9	0,0840	0,2130	0,3870
<b>nov/09</b>	<b>MbCP-1</b>	<b>3</b>	<b>2,5-2,9</b>	<b>0,0280</b>	<b>0,0450</b>	<b>0,0340</b>

**Legenda:**

MjRB: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco;

MjJP-f: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná-foz;

MdMDCP: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripuna;

M.MDCP: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripunas.

MdMDJTI: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao Igarapé Jatuarana I;

MbJTI: *Macrobrachium brasiliense* coletado no Igarapé Jatuarana I.

MbCP: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Caripuna.

Bertine & Goldberg (1972) quantificaram elevadas concentrações de Fe, Co, Zn, Se, Ag e Hg em carapaças de camarões marinhos. Essas concentrações são bons indicativos de um possível papel da muda na ciclagem destes elementos em águas marinhas. Segundo esses autores, os elementos traço podem se concentrar metabolicamente no exoesqueleto antes de ocorrer a muda, ou então podem ser adsorvidos à superfície externa do esqueleto, enquanto ele ainda faz parte do organismo vivo.

O resultado de K-W ( $K-W = 57,20$ ;  $gl = 20$ ;  $p < 0,0001$ ) indicou que os valores médios dos grupos de variáveis diferiram estatisticamente e o teste de *Dunn* identificou três variáveis como responsáveis por essa diferença estatística: exoesqueleto de *M. jelskii* amostrada no rio Branco, tecido hepatopancreático de *M. jelskii* amostrado no rio Jaci-Paraná (fz) e tecido hepatopancreático de *M. depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripuna (Tabelas 16 e 17, apêndice B). As diferenças significativas observadas entre esses grupos indicam diferenças nas concentrações médias de Hg-T, enquanto que a ausência de diferença se deve às semelhanças entre essas concentrações.

As comparações múltiplas não-paramétricas pareadas realizadas entre as concentrações de Hg-T dos três compartimentos, entre as espécies por localidades, também formaram dois grupos, onde a maioria das variáveis pertenceu a ambos (Tabela 11). Com algumas exceções: o exoesqueleto de *M. jelskii* (coletada no rio Branco) pertenceu apenas ao grupo A, enquanto o exoesqueleto de *M. brasiliense* (Igarapé Jatuarana I) e os tecidos hepatopancreáticos de *M. jelskii* (rio Jaci-Paraná-fz), *M. depressimanum* e *Macrobrachium* (rio Caripuna) e *M. brasiliense* (Igarapé Jatuarana I) pertenceram apenas ao grupo B. As diferenças significativas observadas entre algumas de suas variáveis também se devem às diferenças nas concentrações de Hg-T.

**Tabela 11.** Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn.

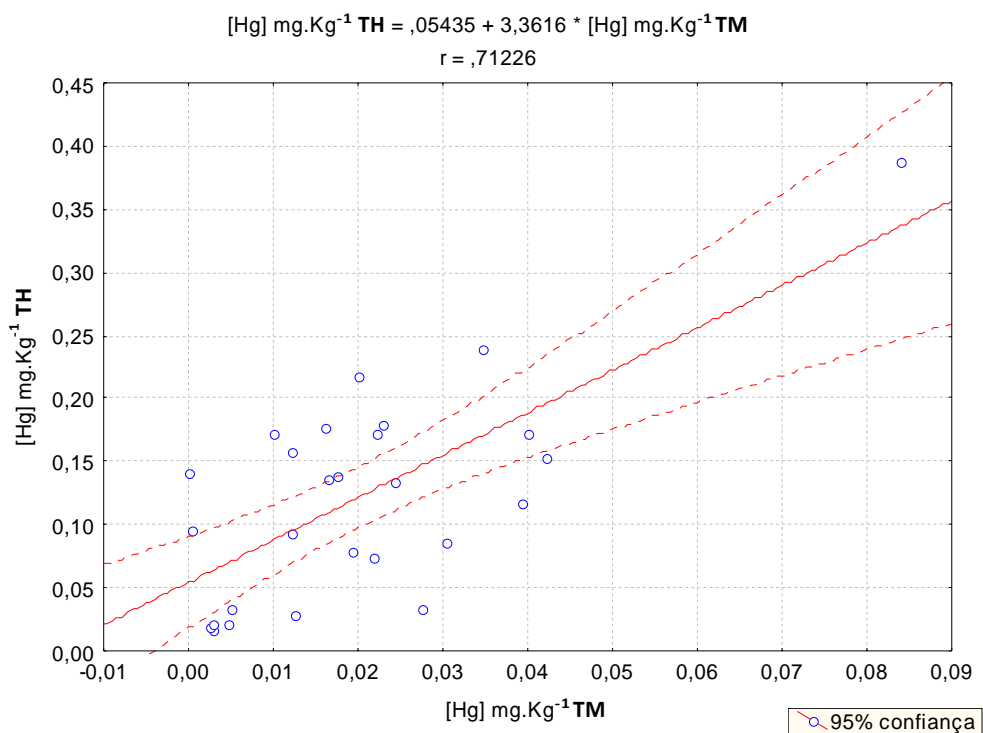
Tecido   Esp/Loc	Soma das ordenações	Média das ordenações	Grupos	
TM   MjRB	203,000	22,556	A	B
TM   MjJP-f	99,000	24,750	A	B
TM   MdMDCP	128,000	25,600	A	B
TM   MdMDJTI	95,000	19,000	A	B
TM   MMDCP	90,000	45,000	A	B
TM   MbCP	42,000	42,000	A	B
TM   MbJTI	62,000	62,000	A	B
EX   MjRB	133,000	14,778	A	
EX   MjJP-f	181,000	45,250	A	B
EX   MdMDCP	215,000	43,000	A	B
EX   MdMDJTI	164,000	32,800	A	B
EX   MMDCP	109,000	54,500	A	B
EX   MbCP	55,000	55,000	A	B
EX   MbJTI	78,000	78,000		B
TH   MjRB	435,000	48,333	A	B
TH   MjJP-f	282,000	70,500		B
TH   MdMDCP	362,000	72,400		B
TH   MdMDJTI	311,000	62,200	A	B
TH   MMDCP	147,000	73,500		B
TH   MbCP	49,000	49,000	A	B
TH   MbJTI	81,000	81,000		B

**Legenda:**MjRB: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Branco;MjJP-f: *Macrobrachium jelskii* coletado no rio Jaci-Paraná-foz;MdMDCP: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripuna;M.MDCP: *Macrobrachium* coletado no rio Madeira frente ao igarapé Caripunas.MdMDJTI: *Macrobrachium depressimanum* coletado no rio Madeira frente ao Igarapé Jatuarana I;MbJTI: *Macrobrachium brasiliense* coletado no Igarapé Jatuarana I.MbCP: *Macrobrachium brasiliense* coletado no igarapé Caripuna.

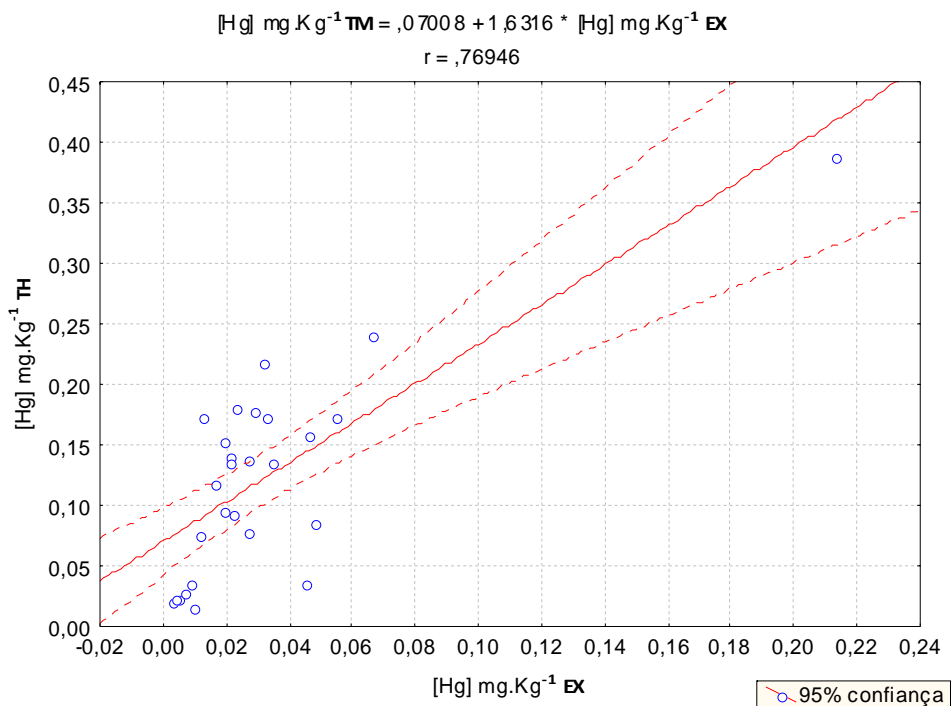
Com a finalidade de determinar a existência de uma relação entre as concentrações de Hg-T presentes nos tecidos hepatopancreáticos com as concentrações deste elemento nos tecidos não hepatopancreáticos e investigar a possível transferência de Hg entre os três compartimentos, realizou-se a análise de correlação linear adotando-se o coeficiente de correlação de Pearson (r).

Esses coeficientes de correlação (Figuras 12, 13 - 14) sugerem a existência de correlação positiva **forte** entre os três tecidos, sendo que ela é mais intensa entre exoesqueleto e tecido muscular. Os resultados indicam que os três tecidos atuam conjuntamente no

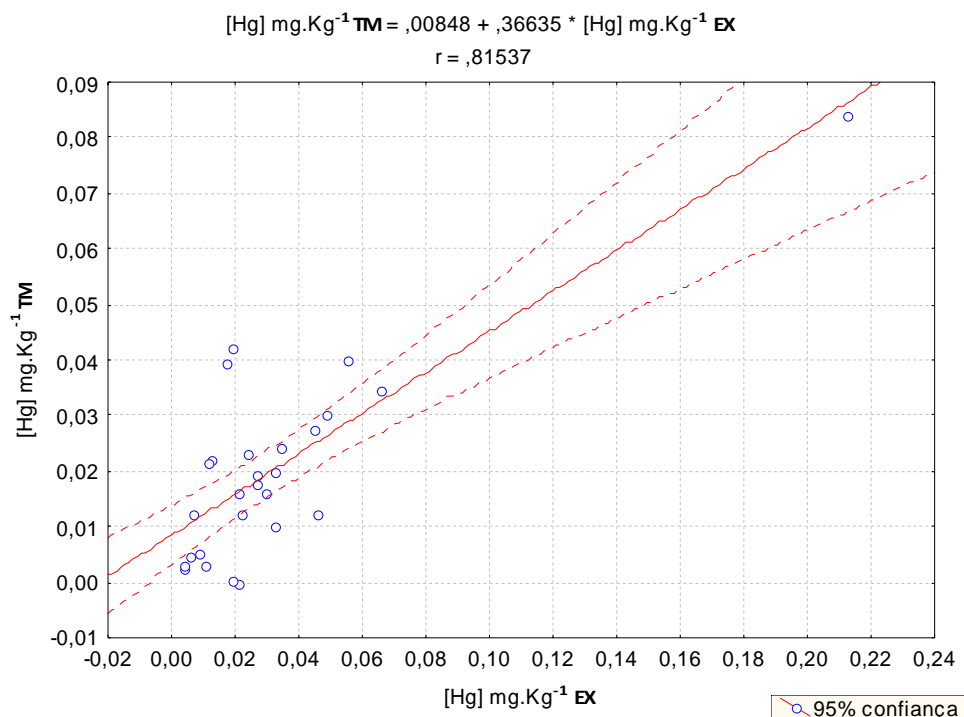
metabolismo do Hg, sendo que as concentrações de Hg-T no exoesqueleto dos camarões sugerem eliminação deste elemento através da ecdise.



**Figura 12.** Intensidade de associação entre as concentrações de Hg-T entre tecido muscular e tecido hepatopancreático de camarões.



**Figura 13.** Intensidade de associação entre as concentrações de Hg-T entre exoesqueleto e tecido hepatopancreático de camarões.



**Figura 14.** Intensidade de associação entre as concentrações de Hg-T entre exoesqueleto e tecido muscular de camarões.

A associação existente entre metal e exoesqueleto, pode estar relacionada ao fato do exoesqueleto dos crustáceos seqüestrar metais e contribuir para sua eliminação através da ecdise, como relatado por Keteles & Fleeger (2001). Bertine & Goldberg (1972) corroboram com a existência dessa eliminação, pois ao analisarem as concentrações de prata (Ag) em exoesqueleto e tecido muscular de *Crangon crangon*, encontraram maiores concentrações deste elemento no primeiro tecido. Segundo esses autores, tal resultado também sugere a eliminação deste metal através da carapaça dos camarões desta espécie.

Pode-se dizer que os indivíduos pertencentes ao gênero *Macrobrachium* eliminam parte do Hg presente em seus tecidos através do exoesqueleto, sendo que esta eliminação pode estar variando conforme o comprimento total dos indivíduos, dessa forma, as concentrações de Hg-T quantificadas nas carapaças dos camarões refletem as concentrações deste elemento no corpo desses organismos.

Reinfelder & Fisher (1994), em seu estudo sobre a retenção de elementos absorvidos por peixes juvenis, afirmam que os elementos traço associados à quitina no exoesqueleto dos invertebrados não são assimiladas por peixes. Apesar disso, pode-se inferir que os peixes da região amazônica que se alimentam das espécies de camarões estudadas neste trabalho bioacumulam o Hg contido nos tecidos dos camarões, exceto o Hg proveniente diretamente da carapaça.

Pode-se afirmar que ocorre transferência de Hg entre os três compartimentos. Antes de ocorrer a muda o camarão reabsorve os elementos químicos presentes em seu exoesqueleto, para que ocorra a ecdise, parte destes elementos são armazenados no tecido muscular e parte no tecido hepatopancreático. Após a muda ele transfere parte desses elementos para endurecer o novo exoesqueleto, assim o Hg pode ser transportado entre os compartimentos desses indivíduos, juntamente com outros metais, como Zn e Cd, como relatado por Keteles & Fleeger (2001).

Vários autores têm demonstrado a existência de Hg adsorvido ao sedimento de fundo dos rios (LECHLER et al., 2000, MASCARENHAS et al., 2004, RAMALHOSA et al., 2006 e TELMER et al., 2006). Os resultados deste elemento encontrado nos sedimentos amostrados nas mesmas localidades em que foram coletados os camarões encontram-se na tabela 12.

**Tabela 12.** Concentração de Hg-T em sedimentos de fundo das localidades onde foram amostrados camarões.

<b>Período</b>	<b>Localidade</b>	<b>[Hg]mg.kg<sup>-1</sup>*</b>	<b>DP</b>
jul/08	Jaci-Paraná	0,042	0,000
jul/08	Rio Branco	0,141	0,040
jul/08	Igarapé Belmont	0,044	0,000
ago/09	Igarapé Caripuna	0,109	0,004
ago/09	Rio Branco	0,119	0,003
ago/09	Jaci-Paraná	0,091	0,004
ago/09	Jatuarana I	0,047	0,000
nov/09	Rio Branco	0,109	0,011
nov/09	Igarapé Caripuna	0,067	0,001
nov/09	Rio Madeira frente a Santo Antônio	0,052	0,000
nov/09	Rio Madeira frente ao igarapé Caripuna	0,048	0,000
nov/09	Rio Madeira frente ao igarapé Belmont	0,036	0,001
mai/10	Rio Madeira frente ao Igarapé Jatuarana I	**	**

\* Níveis normais < 0,200

\*\* Não foi possível analisar Hg-T no sedimento desta localidade, por este ser muito arenoso, impossibilitando a determinação deste elemento.

Observando esta tabela pode-se perceber que as concentrações de Hg-T em todos os sedimentos de fundo amostrados estão abaixo dos limites considerados normais. Eles também estão abaixo das concentrações encontradas no EIA-RIMA (Tabela 01). Não foi possível realizar associações entre as concentrações de Hg-T dos sedimentos com as concentrações de Hg-T dos camarões por localidade, devido ao fato do *n* amostral, tanto dos sedimentos quanto dos camarões ter sido insuficiente.

## CONCLUSÕES

- Os teores médios de Hg-T em camarões compartimentalizados e não compartimentalizados estiveram abaixo do limite máximo estabelecido pela ANVISA para consumo humano;
- Dentre as espécies estudadas *Macrobrachium brasiliense* apresentou as maiores concentrações de Hg-T;
- A compartimentalização dos camarões permitiu a observação do tecido pelo qual o Hg tem maior afinidade: o tecido hepatopancreático;
- As concentrações de Hg-T no exoesqueleto dos camarões sugerem eliminação deste elemento através da ecdise;
- Há diferenças entre as concentrações de Hg-T dos camarões por espécie e localidades;
- As concentrações de Hg-T entre músculo e exoesqueleto dos camarões e as maiores concentrações deste elemento medidas no tecido hepatopancreático sugerem que mecanismos de detoxificação podem estar atuando nesses organismos;
- Os invertebrados aquáticos podem ser utilizados como biomonitores da presença de Hg na bacia rio Madeira, pelos seguintes fatores: são pouco móveis e podem ser encontrados em abundância no período de vazante. As desvantagens estão associadas, principalmente à dispersão dos espécimes que ocorre no período de águas altas.
- A sazonalidade influencia na densidade de invertebrados aquáticos.



## RECOMENDAÇÕES

- Investigar a ecologia comportamental dos indivíduos em seu hábitat natural;
- Realizar amostragens mensais, para acompanhar o ciclo reprodutivo, crescimento populacional, bem como o ciclo de vida, a fim de ter uma visão ampliada deste ecossistema;
- Amostrar indivíduos aquáticos pertencentes a outros níveis tróficos, juntamente com o material abiótico deste ecossistema, objetivando estudar a relação de transferência de Hg ao longo da cadeia alimentar;
- Realizar bioensaios com diferentes espécies e concentrações de Hg, com objetivo de estudar o comportamento dos indivíduos, taxas de assimilação e eliminação deste elemento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. **AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA**. Portaria nº 685, de 27 de Agosto de 1998. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685\\_98.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.htm). Acesso em: Novembro de 2009.

AZEVEDO, F.A; NASCIMENTO, E.S; CHASIN, A. (Caderno de Meio Ambiente) Aspectos Atualizados dos Riscos Toxicológicos do Mercúrio. **TECBAHIA R. BaianaTecnologia.**, v. 16, n. 3, p.87 - 104, 2001.

AZEVEDO, M. S. Banca de qualificação de projeto. Porto Velho: Universidade Federal de Rondônia. (Comunicação oral). 2009.

BASTOS, W. R. **Métodos de digestão utilizando microondas para determinação automatizada de mercúrio em amostras ambientais e humanas: Implantação de laboratórios e avaliação da qualidade analítica**. Tese de Mestrado em Ciências Biológicas - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho - Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. 1998.

BASTOS, W.R. **Ocorrência ambiental do mercúrio e sua presença em populações ribeirinhas no Baixo Rio Madeira - Amazônia**. Tese de Doutorado em Ciências Biológicas - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho - Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 111p., 2004.

BERTINE, K. K. & GOLDBERG, E. D. Trace elements in clams, mussels and shrimp. **Limnology and Oceanography**. v. 17, n. 6, p. 877 - 884, 1972.

BOENING, D. W. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. **Chemosfere**. v. 40, n. 2000, p. 1335 - 1351, 2000.

BUSS, D. F. & BORGES, E.L. Application of Rapid Bioassessment Protocols (RBP) for Benthic Macroinvertebrates in Brazil: Comparison between Sampling Techniques and Mesh Sizes. **Neotropical Entomology**. v. 37, n. 3, p. 288 - 295, 2008.

CALLISTO, M. Macroinvertebrados bentônicos. In: Bozelli, R. L.; Esteves, F.A. & Roland, F. **Lago Batata: impacto e recuperação de um ecossistema amazônico**. Rio de Janeiro: IB-UFRJ/SBL. p. 139 - 152, 2000.

COLLART, O. O. Ecologia e Potencial Pesqueiro do Camarão-Canela, *Macrobrachium amazonicum*, na bacia Amazônica. In: FERREIRA, E. J. G.; SANTOS, G. M.; LEÃO, E. L. M. & OLIVEIRA, L. A. (Eds). **Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia**. v.2. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. p. 147 - 166, 1993.

COSTA, R. C., FRANSOZO, A. MELO, G. A. S. & FREIRE, F. A. de M. Chave Ilustrada para Identificação dos Camarões Dendrobranchiata do Litoral Norte do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotrópica**. v. 3, n. 1, p. 1 - 12, 2003.

CREMONA, F.; PLANAS, D., LUCOTTE, M. Assessing the importance of macroinvertebrate trophic dead ends in the lower transfer of methylmercury in littoral food webs. **Aquatic Science**. v.65, p. 2043–2052, 2008.

CUMMINS, K.W. Invertebrates. In: Calow, P & G. E. Petts. **The Rivers Handbook. Hidrological and Ecological Principles**. Blackwell Science, 526 p, 1992.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 602p., 1998.

EIA-RIMA. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau, no Rio Madeira-RO**. Tomo B, v. 1, 287p. 2004.

FORSBERG, B. F. & KEMENES, A. Parecer Técnico sobre Estudos Hidrobiogeoquímicos, com atenção específica à dinâmica do mercúrio (Hg). In: **Relatório de análise do conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos aproveitamentos hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, Estado de Rondônia**. 816p., 2006.

GARCÍA-DÁVILA, C.R. & MAGALHÃES, C. Revisão taxonômica dos camarões de água doce (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae, Sergestidae) da Amazônia peruana. **Acta Amazonica**. v. 33, n. 4, p. 663-686, 2003.

HARE, L. Aquatic insects and trace elements metals: bioavailability, bioaccumulation, and toxicity. **Critical Review of Toxicology**. v. 22, n.5,p. 327-369, 1992.

HERRMANN, J. C. **Mercúrio em solos de Rondônia: A geoestatística como ferramenta de análise da influência da ação antrópica (Um Estudo de Caso)**. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, RO. 2004.

HOLTHUIS, L. B. A general revision of the Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Natantia) of the Americas, II: The subfamily Palaemonidae. **Allan Hancock Foundation Publications, Occasional Paper**. v. 12, p. 1-396, 1952.

HUI, C. A.; RUDNICK, D.; WILLIAMS, E. Mercury burdens in Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) in three tributaries of southern San Francisco Bay, California, USA. **Environmental Pollution**. V. 133, p. 481-487. 2005

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censo 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 20/08/2010.

JACQUES-CALLEGARI, S. M. **Bioestatística: Fundamentos e Aplicações**. Artmed. 264p., 2003.

KENSLEY, B. & WALKER, I. Palaemonid shrimps from the Amazon Basin, Brazil (Crustacea: Decapoda: Natantia). **Smithsonian Contributions to Zoology**. v. 362. p. 1-28. 1982

KETELES, K. A. & FLEEGER, J. W. The contribution of ecdysis to the fate of copper, zinc and cadmium in grass shrimp, *Palaemonetes pugio* Holthius. **Marine Pollution Bulletin**. v. 42, p. 1397-1402, 2001.

KURUN, A., BALKIS, H. BALKIS, N. Accumulations of total metal in dominant shrimp species (*Palaemon adspersus*, *Palaemon serratus*, *Parapenaeus longirostris*) and bottom surface sediments obtained from the Northern Inner Shelf of the Sea of Marmara. **Environmental Monitoring Assessment**. v. 135, p. 353 – 367, 2007.

LECHLER, P. J.; MILLER, J. R.; LACERDA, L. D.; VINSON, D.; BONZONGO, J-C.; LYONS, W. B.; WARWICK, J. J. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water and fish of the Madeira river basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? **The Science of the Total Environment**. v. 260, p. 87-96, 2000.

LOBÃO, V. L.; SAWAYA, P.; SANTOS, L. E. Influência da temperatura, precipitação pluviométrica e insolação na reprodução de *Macrobrachium holthuisi*. **Instituto de Pesca**. v. 2, p. 109-118, 1978.

*MACROBRACHIUM BRASILIENSE*. In: **Crustafauna**. Disponível em: <<http://www.crustafauna.org/215/nouvelle-importation/>> Acesso em: 13/08/10.

*MACROBRACHIUM DEPRESSIMANUM*. In: **Aquafisher**. Disponível em<[http://aquafisher.org.ua/Vid/RAKUCHKU/KREVETKI\\_KLACC.html](http://aquafisher.org.ua/Vid/RAKUCHKU/KREVETKI_KLACC.html)>: Acesso em: 13/08/10.

*MACROBRACHIUM JELSKII*. In: **Acutemedicine**. Disponível em: <<http://ian.umces.edu/discforum/index.php?topic=237.0>> Acesso em: 13/08/10.

*MACROBRACHIUM JELSKII*. In: **Aquahobby**. Disponível em: <<http://www.aquahobby.com/phpBB2/viewtopic.php?t=54004>>Acesso em: 13/08/10.

MASCARENHAS, A. F. S.; BRABO, E. da S.; SILVA, A. P. da; FAYAL, K. de F.; JESUS, I. M. de; SANTOS, E. C. de O. Avaliação da concentração de Hg em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**. v. 34, n. 1, p. 61-68, 2004.

MOLINA, C. I.; GIBON, F-M.; DUPREY, J-L.; DOMINGUEZ, E.; GUIMARÃES, J-R. & ROULET, M. Transfer of Mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. **Science of the Total Environment**. 2010.

NARCHI, W. **Crustáceos: Estudos Práticos**. São Paulo: Universo. p. 116, 1973.

NIMMI, A. J. Physiological effects of contaminant dynamics in fish. In: J. O. Nriagu eds. **Aquatic Toxicology**. p. 206 - 246, 1983.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. Thomson Pioneira. 612p. 2008.

- PÁEZ-OSUNA & RUIZ FERNÁNDEZ. Comparative Bioaccumulation of Trace Metals in *Penaeus stylirostris* in Estuarine and Coastal Environments. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 40, p. 35 - 44, 1995.
- RAMALHOSA, E.; PATO, P.; MONTERROSO, P.; PEREIRA, E.; VALE, C.; DUARTE, A. C. Accumulation versus remobilization of Mercury in sediments of a contaminated lagoon. **Marine Pollution Bulletin**. v. 52, p. 332-356, 2006.
- REINFELDER, J.R.; FISHER, N.S. The assimilation of elements ingested by marine planktonic bivalve larvae. **Limnology Oceanography**. v. 39, p. 12 - 20, 1994.
- RODRIGUES, G. Decapoda. In: HURLBERT, S. H.; RODRIGUES, G. & SANTOS, N.D. (Eds). **Aquatic Biota of Tropical South America, part I: Arthropoda**. San Diego State University, San Diego. p. 41 – 51, 1981.
- RUELAS-INZUNZA, J. GARCIA-ROSALES, S. B., PAEZ-OSUNA, F. Distribution of mercury in adult penaeid shrimps from Altata-Ensenada del abellon lagoon (SE Gulf of California). **Chemosphere**. v. 57, p. 1657 - 1661, 2004.
- SAWEY, M. R. Habitat-specific differences in mercury concentrations of Mississippi grass shrimp from Caddo lake, Texas. **Environmental Toxicology and Chemistry**. v. 28, n. 5, p. 962 - 972, 2009.
- SEDAM. SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. **Atlas Geoambiental de Rondônia**. Porto Velho. v.2, 144p., 2002.
- SETZ, E. Z. F.; BUCKUP, L. A duração da intermuda e o comportamento reprodutivo de *Macrobrachium borelli* (Nobili, 1896) e *Palaemonetes (Palaemonetes) argentinus* (Nobili, 1901) no cultivo em laboratório (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae). **Revista Brasileira de Biologia**. v. 37. n. 4, p. 899-906, Rio de Janeiro, RJ. 1977.
- SIMKISS, K. & TAYLOR, M.G. Metal fluxes across the membranes of aquatic organisms. **Aquatic Sciences**. v. 1, p. 173 - 188, 1989.
- SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazonian**. v.1, n. 3, p. 267-277, 1967.
- SOUZA, A. S de.; TORRES, J. P. M.; MEIRE, R. O.; NEVES, R. C.; COURI, M. S. & SEREJO, C. S. Organochlorine pesticides (OCs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments and crabs (*Chasmagnathus granulata*, Dana, 1851) from mangroves of Guanabara Bay, Rio de Janeiro State, Brazil. **Chemosphere**. v. 73, p. 186 - 192, 2008.
- SPIEGEL, M. R. & STEPHENS, L. J. **Statistics**. Bookman, 3 ed. 550p., 1998.
- TELMER, K.; COSTA, M.; ANGÉLICA, R. S.; ARAÚJO, E. S.; MAURICE, Y. The source and fate of sediment and Mercury in the Tapajós river Pará, Brazilian Amazon: Ground – and space based evidence. **Journal of Environmental Management**. v. 81, p. 101-113, 2006.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. Parecer Técnico sobre Limnologia, Qualidade das Águas e Sedimentologia. In: **Relatório de análise do conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos**

**aproveitamentos hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, Estado de Rondônia.** 816 p., 2006.

WATRAS, C. J.; BACKA, R. C.; HALVORSENA, S.; HUDSON, R. J. M.; MORRISONA, K. A.; WENTE, S. P. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. The Science of the Total Environment. **Elsevier**. p. 183 - 208, 1998.

WEEKS, J.M., RAINBOW, P. S.; MOORE, P. G. The loss, uptake and tissue distribution of copper and zinc during the moult cycle in an ecological series of talitrid amphipods (Crustacea: Amphipoda). **Hidrobiology**. v. 245, p. 15-25, 1992.

WHITE, S. L. & RAINBOW, P. S. Zinc flux in *Palaemon elegans* (Crustacea, Decapoda): molting, individual variation and tissue distribution. **Marine Ecology and Progress Series**. V. 19, p. 153-166, 1984.

XLSTAT, **Versão 2010.2.03**. Copyright Addinsoft 1995-2009.

ZAR, J. H. **Bioestatistical Analysis**. Prentice Hall. 929p., 1996.

## APÊNDICE A- DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES DE CAMARÕES AMOSTRADAS NA BACIA RIO MADEIRA

### 1 Família Palaemonidae

O estudo da biologia e da ecologia dos “camarões de água doce”, especialmente dos Palaemonidae desperta um crescente interesse, particularmente diante da potencialidade destes organismos como fonte de alimentação humana. Apesar da relativa frequência com que os Palaemonidae são encontrados em águas doces e estuarinas, particularmente no Brasil, pouco se conhece sobre a sua biologia e ecologia (SETZ & BUCKUP, 1977).

*Macrobrachium brasiliense*, *Macrobrachium depressimanum* e *Macrobrachium jelskii* pertencem à família Palaemonidae que apresenta ampla distribuição na América do Sul (HOLTHUIS, 1952 e RODRIGUES, 1981). Essas espécies não são utilizadas com fins comerciais. Devido a sua grande abundância, ampla distribuição geográfica e seu importante potencial biológico, *M. amazonicum* é a única espécie nativa explorada comercialmente na Amazônia através da pesca artesanal (COLLART, 1993). É interessante ressaltar que *M. amazonicum* não foi analisada neste estudo, por não ter sido amostrada, apesar de sua ampla distribuição geográfica e do esforço de coleta empregado.

#### 1.1 *Macrobrachium brasiliense* Heller, 1862

*Macrobrachium brasiliense* (figuras 15 e 16) apresenta o rostro reto, levemente direcionado para baixo, tão longo quanto o escafoцерito; FR\* 7-13 (2-3) /2-5, dentes regularmente distribuídos ao longo da margem dorsal. Porção ântero-lateral da carapaça e pleuras abdominais ásperas devido a espinhos diminutos. Primeiro par de pereiópodos alcança com quase a metade do comprimento do carpo além do escafoцерito; mero e ísquio com espículos na parte interna. Segundo par de pereiópodos desiguais em tamanho, mas semelhantes na forma, com espinhos em todos os artículos. Quelípodo maior ultrapassa o escafoцерito com todo o comprimento do carpo; dedos cruzados na extremidade distal, formando uma fenda entre eles, em indivíduos maiores; margens cortantes com numerosos denticulos, dois grandes no dáctilo e um no dedo fixo. Palma subcilíndrica, portando fileiras de espinhos pequenos e uniformes, exceto no bordo inferior, onde são maiores e mais espaçados; razão dáctilo/palma, em geral,  $\leq 0,50$  em machos adultos grandes (cc < 20mm), mas muito variável com o tamanho e o sexo. Telso com margem superior distinta,

terminando-se numa extremidade aguda, portando numerosas cerdas entre os espinhos do par látero-posterior interno. Esta espécie habita tanto corpos de água preeta, quanto corpos de água clara (GARCÍA-DÁVILA & MAGALHÃES, 2003).

Mantellato & Barbosa (2005) examinaram a biologia populacional em camarões *Macrobrachium brasiliense*, coletados no riacho Ribeirão Claro, no município de Serra Azul, SP. Esses autores observaram a existência de dimorfismo sexual com relação ao tamanho, os machos eram significativamente maiores e mais pesados que as fêmeas, a maior atividade reprodutiva foi registrada no verão, em função da variação sazonal no tamanho das fêmeas. Foi constatado um padrão reverso na proporção sexual dos indivíduos nas classes de tamanho. Evidências a partir do crescimento relativo indicaram que a maturidade sexual é atingida entre 9 e 10 mm de comprimento de carapaça para ambos sexos, tamanho na qual se observou diferença no crescimento entre machos e fêmeas.



**Figura 15.** *M. brasiliense*  
Fonte: Crustafauna, 2010.



**Figura 16.** *M. brasiliense*  
Fonte: Crustafauna, 2010.

### 1.2 *Macrobrachium depressimanum* Pereira, 1993

Caracterização: *Macrobrachium depressimanum* (figura 17) apresenta o rostro quase reto, ligeiramente arqueado sobre a órbita, alcançando ou ultrapassando com o ápice o bordo distal do escafoцерito; extremidade distal do rostro levemente dirigida para cima; FR 8-13(1-2)/1-5. Carapaça e abdome lisos. Segundo par de pereiópodos lisos, semelhantes em forma e tamanho. Segundo par de pleópodos com apêndice masculino 2,5 vezes mais longo do que o apêndice interno, com ápice agudo e 16-18 espinhos curtos e agudos. Telso com margem posterior truncada abruptamente, formando um ápice mediano, ultrapassado pelos espinhos látero-posteriores internos.



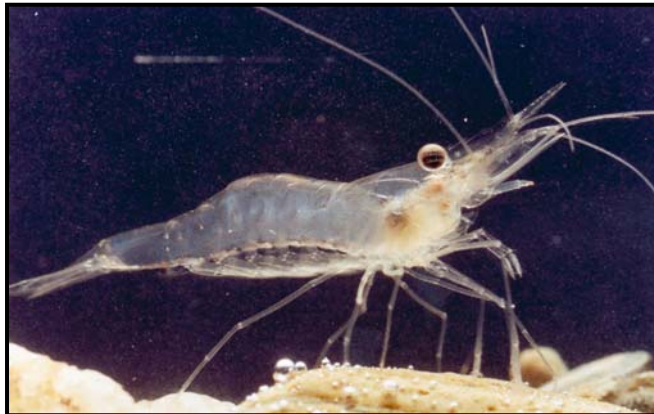
O segundo par de pereiópodos mostra um acentuado dimorfismo sexual; enquanto nos machos o dátilo é quase 1,5 vez mais longo quanto a palma; além disso, nos machos a palma é mais larga do que nas fêmeas, apresentando uma aparência inflada. Esta espécie habita regiões mais baixas que às habitadas por *M. brasiliense* (GARCÍA-DÁVILA & MAGALHÃES, 2003).



**Figura 17.** *M. depressimanum*  
Fonte: Aquafisher, 2010.

### **1.3 *Macrobrachium jelskii* Miers, 1877**

Características principais: *Macrobrachium jelskii* (figura 18) apresenta o rosto delgado, curvado para cima na parte distal e ultrapassando a extremidade distal do escafocerito; margem superior apresentando a porção distal inerte entre os dentes proximais e os dentes subapicais (1-2). Carapaça e abdome lisos. Segundo par de pereiópodos semelhantes em forma e tamanho, alcançando com a maior parte da quelícera além do escafocerito; dedos fechados em quase todo seu comprimento; razão dátilo/palma:  $0,82 \pm 0,08$  ( $n=11$ ). Apêndice masculino do segundo par de pleópodos 1,5 vezes mais longo do que o apêndice interno. Telso com margem posterior distinta, apresentando uma extremidade mediana aguda e com os espinhos látero-posteriores. *M. jelskii* vive em corpos de água branca, clara e preta, geralmente coabitando com *Macrobrachium amazonicum* (GARCÍA DÁVILA & MAGALHÃES, 2003).



**Figura 18.** *M. jelskii*  
Fonte: Acutemedicine, 2010.

## APÊNDICE B – CONCENTRAÇÕES DE Hg-T EM CAMARÕES

### 1 NÃO-COMPARTIMENTALIZADOS

**Tabela 13.** Tabela de diferenças pareadas entre as concentrações de Hg-T por espécie e localidade.

	[Hg] MjRB	[Hg] MJJP-f	[Hg] MbIB	[Hg] MbCP	[Hg] M.MDIB	[Hg] M.MDST	[Hg] M.MDCP
[Hg] MjRB	0	-24,070	-73,370	-44,037	27,249	-37,704	7,963
[Hg] MjJP-f		0	-49,300	-19,967	51,319	-13,633	32,033
[Hg] MbIB			0	29,333	100,619	35,667	81,333
[Hg] MbCP02				0	71,286	6,333	52,000
[Hg] M.MD04-IB					0	-64,952	-19,286
[Hg] M.MD03						0	45,667
[Hg] M.MDCP							0

**Tabela 14.** Diferenças significativas pareadas entre as concentrações de Hg-T por espécie e localidade.

	[Hg] MJRB	[Hg] MJJP-f	[Hg] MbIB	[Hg] MbCP	[Hg] M.MDIB	[Hg] M.MDST	[Hg] M.MDCP
[Hg] MJRB	Não	Não	<b>Sim</b>	Não	Não	Não	Não
[Hg] MJJP-f		Não	Não	Não	<b>Sim</b>	Não	Não
[Hg] MbIB			Não	Não	<b>Sim</b>	Não	Não
[Hg] MbCP				Não	<b>Sim</b>	Não	Não
[Hg] M.MDIB					Não	Não	Não
[Hg] M.MDST						Não	Não
[Hg] M.MDCP							Não

## 2 COMPARTIMENTALIZADOS

**Tabela 15.** Tabela de diferenças pareadas entre as concentrações de Hg-T por compartimentos, espécies e localidade.

[illegible]

**Tabela 16:** Diferenças significativas pareadas entre as concentrações de Hg-T por compartimento, espécie e localidade.

[illegible]

**Tabela 17:** Parâmetros físicos-químicos das localidades onde foram amostrados os camarões.

Localidades	Período	Profundidade (m)	Condutividade (mS/m)	PH	TDS - g/L	ORP - mV	OD (mg/L)
Rio Jaci-Paraná	Jul/ 08	0,20	2,00	6,00	0,01	259,00	8,40
Rio Branco	Jul/ 08	0,20	2,10	5,93	0,01	189,00	7,60
Igarapé Belmont	Jul/08	0,20	4,30	6,52	0,03	205,00	6,30
Igarapé Caripuna	Ago/09	0,20	1,40	5,57	0,01	191,00	7,30
Rio Branco	Ago/09	0,20	2,30	6,68	0,01	94,00	7,40
Rio Jaci-Paraná (foz)	Ago/09	0,20	2,10	6,14	0,01	165,00	7,10
Igarapé Jatuarana I	Ago/09	0,20	1,20	5,60	0,01	162,00	7,10
Rio Branco	Nov/09	0,20	0,03	6,40	0,02	189,00	7,60
Igarapé Caripuna	Nov/09	1,09	0,01	5,11	0,01	220,00	7,60
Rio Madeira frente ao Igarapé Caripuna	Nov/09	0,20	0,10	5,35	0,07	164,00	8,50
Rio Madeira frente a Santo Antônio	Nov/09	0,20	100,00	6,50	0,06	155,00	10,00
Rio Madeira frente ao Igarapé Belmont	Nov/09	0,20	0,10	6,51	0,06	154,00	8,90
Rio Madeira frente ao Igarapé Jatuarana I	Mai/10	0,20	0,02	5,69	0,01	190,00	2,77